



# Universidad Nacional Autónoma de México



Facultad de Ingeniería

Tesina para obtener el título de:

Ingeniero Industrial

Título de la tesina:

Métodos Avanzados de Gestión de la Producción y de la  
Calidad.

Presenta:

Felipe Vidal Otero

Asesora de tesina:

M. I. Silvina Hernández García

México, D.F., 2015

## Índice

Introducción .....	4
Objeto de estudio .....	4
Objetivo de la tesina .....	5
1.    Objetivo .....	5
2.    Alcance .....	5
Hipótesis .....	5
Capítulo 1. El PPAP y su propósito .....	6
1.1 Definición de PPAP .....	6
1.2 Requerimientos para un PPAP .....	6
1.3 Niveles de un PPAP .....	7
1.4 Costo de un PPAP .....	7
Capítulo 2. PPAP y APQP .....	8
2.1 Introducción a APQP .....	8
2.1.1 Beneficios de la Planeación de la Calidad de un Producto .....	9
2.1.2 Etapas del Proceso APQP .....	9
2.1.3 Planes Relativos a la Gráfica de un Esquema de Tiempo .....	10
2.1.3.1 Etapa de Plan y Definición de un Programa .....	11
2.1.3.2 Etapa de Diseño y Desarrollo del Producto .....	11
2.1.3.3 Etapa de Diseño y Desarrollo del Proceso.....	12
2.1.3.4 Etapa de Validación del Producto y del Proceso.....	13
2.4.3.5 Etapa de Evaluación .....	14
2.2 APQP y el proceso PPAP.....	15
Capítulo 3. Elementos de un PPAP: El Proceso .....	17
3.1 Diagrama de Flujo de Proceso / Operación .....	17
3.2 Análisis de Modo y Efecto de Falla (AMEF).....	18
3.2.1 Alternativas al AMEF.....	18
3.2.2 Elementos de un AMEF .....	18
3.3 Plan de Control .....	23
3.3.1 Elementos de un Plan de Control.....	24
3.4 Análisis del Sistema de Medición.....	24
3.5 Eliminando desperdicios: <i>Lean Manufacturing</i> .....	32
3.5.1 Los 7 + 1 Desperdicios.....	33

3.5.2 El Sistema de Producción de Toyota: La Casa de Toyota .....	34
3.5.2.1 JIT (Justo a Tiempo) .....	34
3.5.2.2 Flujo de trabajo de una pieza. ....	35
3.5.2.3 Flujo de tracción (Pull System).....	36
3.5.2.4 Jidoka. ....	37
3.5.3 Herramientas de Lean Manufacturing .....	37
3.5.3.1 5 S's .....	41
Capítulo 4. Elementos de un PPAP: El Producto .....	43
4.1 Récord de Diseño.....	43
4.2 Resultados de Pruebas Dimensionales .....	43
4.2.1 GD&T: Dimensionamiento Geométrico y Tolerancia.....	44
4.2.1.1 Símbolos Principales.....	44
4.3 Resultados de Pruebas de Materiales .....	46
4.3.1 IMDS (International Materials Data System).....	47
4.3.2 Estándares y Especificaciones de Materiales .....	48
4.4 Resultados de Pruebas de Desempeño.....	49
4.4.1 Sistemas de Asesorías de Procesos.....	51
4.5 Reporte de Aprobación de Apariencia (AAR).....	54
4.6 Estudios Iniciales de Proceso .....	55
4.6.1 Características Críticas .....	55
4.7 Asegurando 3.4 ppm: Six Sigma.....	59
4.7.1 ¿Qué es Six Sigma? .....	59
4.7.2 Etapas de Six Sigma.....	60
4.7.3 Roles de Six Sigma .....	61
4.7.4 Fases de la metodología Six Sigma.....	61
4.7.4.1 Fase de Definición.....	61
4.7.4.2 Fase de Medición.....	63
4.7.4.3 Fase de Análisis.....	70
4.7.4.4 Fase de Mejora.....	74
4.7.4.5 Fase de Control.....	76
4.7.5 DFSS o DMADV.....	77
Capítulo 5. Elementos de un PPAP: Miscelánea .....	78
5.1 Documentación de Laboratorios .....	78
5.2 Fundamentos de ISO 9000.....	78
5.2.1 ¿Qué es ISO 9000? .....	78

5.2.2 La certificación ISO 9000.....	79
5.2.3 Requerimientos básicos de ISO 9000.....	80
5.3 Muestras de Producción .....	81
5.4 Muestra Maestra .....	81
5.5 Ayudas para la Revisión.....	82
5.6 Hoja de Información de Operaciones .....	82
5.7 Datos sobre Empaque y Embalaje.....	83
5.8 Garantía de Partes para Entrega.....	85
5.9 Requerimientos Específicos del Cliente.....	87
Capítulo 6. Fracasar en los Requerimientos del Cliente .....	88
6.1 Documentos de Autorización a Cambios de Ingeniería .....	88
6.1.1 Solicitud de Desviaciones.....	88
6.2 Rechazos del Cliente .....	88
6.3 8D's .....	89
6.4 Cargos al Proveedor.....	90
Conclusiones .....	92
Bibliografía .....	92

## Introducción

Uno de los factores más importantes para que un negocio tenga el éxito requerido es el ofrecer productos y servicios que centren sus esfuerzos en satisfacer las expectativas del cliente, siendo que muchas veces la misma existencia de tal organización se justifica con tal ofrecimiento. Sea que se obtenga un beneficio económico a cambio de ello o no (como en las instituciones de asistencia social), se espera que cualquier organización se adecúe a este marco.

Un error muy común sucede cuando dentro de una organización se tiene la percepción de que la calidad implica automáticamente un alto costo, sin tomar en cuenta los beneficios y oportunidades que naturalmente trae consigo, dando lugar a que se dejen de lado los esfuerzos para ello. Muchas veces esta falsa percepción es causada por lo complicado que resultan ser las herramientas que aseguran una buena administración de la calidad, ocasionando que gran parte de los proyectos intentados se abandonen al poco tiempo, más que por falta de disciplina, por falta de practicidad.

## Objeto de estudio

En este documento presentaremos cinco metodologías de trabajo que nos facilitarán la correcta y organizada administración de la calidad. Para un mejor desarrollo del documento, y para intentar integrar las cinco metodologías, centraremos el desarrollo de la tesina alrededor del proceso PPAP, como se muestra en la Figura 1.

Product Part Approval Process (Proceso de Aprobación de las Partes de un Producto).

Como su nombre lo indica, es un proceso que resume una serie de pruebas realizadas para asegurar el cumplimiento de los requerimientos del cliente, en cuanto a funcionalidad, materiales, cumplimiento de estándares, entre otros.

Dado que el proceso PPAP está compuesto por diferentes tipos de documentos probatorios, revisaremos las cuatro metodologías restantes en el grupo de procesos que más sean afines a la misma. El resto de las metodologías son:

- a) Advanced Product Quality Planning (Planeación Avanzada de la Calidad del Producto). Ésta es una metodología que nos ayuda a planificar cómo se llevará a cabo el inicio de la producción de un proyecto (i.e. un nuevo producto) dentro de una organización.
- b) Lean Manufacturing (Manufactura Esbelta). Más que una metodología, es una filosofía de trabajo cuyo propósito central se enfoca en la reducción de los denominados “desperdicios”, los cuales son elementos que no añaden ninguna clase de valor agregado a la organización.
- c) Six Sigma (Seis Sigma). Es una metodología que busca reducir la tasa de defectos de una organización –aumentando la capacidad de respuesta al cliente–, mediante la utilización de herramientas estadísticas.

- d) ISO 9000. Finalmente, también es una metodología que evalúa de manera integral diferentes procesos pertenecientes a la organización para asegurar que ningún producto defectuoso llegue a manos del cliente.

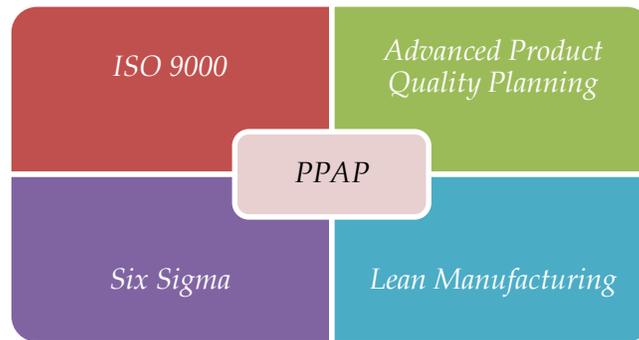


Figura 1. Conjunción de las Metodologías (elaboración propia).

## Objetivo de la tesina

### 1. Objetivo

Explicar a detalle cada una de las metodologías propuestas, con cada una de sus partes y la importancia de éstas, para integrarlas en sistema para la gestión de la calidad.

### 2. Alcance

El propósito principal de este documento es el servir como una guía para el uso de las herramientas y metodologías mencionadas, de tal forma que una organización pueda tener un primer contacto con aquellos estándares que se espera que cumpla para integrarse a un campo de mayor exigencia y de mayores beneficios.

Aún con ello, no se hace hincapié en herramientas más avanzadas y que probablemente no sería necesario instaurar en un inicio dentro de la organización; en la mayoría de estos casos, una referencia será suficiente.

## Hipótesis

Es posible combinar las metodologías PPAP, APQP, 'Lean Manufacturing', 'Six Sigma', e ISO 9000 en un sistema de administración de calidad completo.

## Capítulo 1. El PPAP y su propósito

### 1.1 Definición de PPAP

El Proceso de Aprobación de Partes para Producción (PPAP, por sus siglas en inglés), es un proceso de evaluación de las condiciones de manufactura de una pieza. La finalidad del mismo es que el proveedor demuestre tres cosas:

- a) Que entienda claramente cuáles son los requerimientos del cliente en cuanto al diseño y manufactura de una pieza;
- b) Que su organización es capaz de cumplir con tales requerimientos a una tasa de producción que sea capaz de cumplir con la demanda del cliente;
- c) Que la manufactura de la pieza a ofrecer les traerá beneficios económicos.

Es importante notar que el PPAP es una de las cuatro herramientas conocidas como “Core Tools”, las cuales son utilizadas principalmente en la industria automotriz, para la evaluación de los procesos generales de calidad y producción de la organización proveedora.

En general, las herramientas Core Tools son el PPAP; el MSA (Análisis del Sistema de Medición); el SPC (Control Estadístico de Proceso); el FMEA (Análisis de Modo y Efecto de Falla); el Plan de Control, y APQP (Planeación Avanzada de la Calidad del Producto).

La organización desarrolladora del proceso PPAP, como actualmente lo conocemos, es el AIAG (Automotive Industrial Action Group - Grupo de Acción de la Industria Automotriz), una alianza desarrollada por Ford Motor Company, Chrysler Group LLC y General Motors con la consigna de evaluar e implementar las técnicas de calidad más avanzadas a sus vehículos, y ofrecer la mejor calidad y seguridad a los consumidores. Otro organismo encargado de la regulación (en este caso de uno de los elementos no mencionados, pero solicitados del PPAP: los certificados ISO) es la IATF (Fuerza de Tareas Automotriz International), que también es un grupo formado por la alianza de industrias automotrices con la misma tarea.

Hoy en día ya hay alternativas a la entrega del PPAP, y la más importante es el ISIR (Reporte de Inspección de la Muestra Inicial), desarrollado por Volkswagen y BMW para su uso en Alemania. Incluye gran parte de los elementos de un PPAP, aunque con diferentes denominaciones; sin embargo, no requiere, por ejemplo, de descripciones del proceso de producción.

Casi la totalidad de las empresas pertenecientes a la industria automotriz utilizan el PPAP como garantía obligatoria para sus clientes y, de hecho, todas las que estén certificadas bajo la norma ISO/TS 16949 estarán familiarizadas con el concepto. Sin embargo, como muchos de los conceptos y metodologías que evaluaremos más adelante, no se limita a la industria automotriz.

### 1.2 Requerimientos para un PPAP

El PPAP, como tal, es un paquete de documentos con pruebas y certificados aplicados sobre el producto en cuestión, buscando la aprobación del cliente, el cual evaluará cada una de esas pruebas y verificará que, efectivamente, cumplen con los requerimientos solicitados desde un inicio. Este paquete está constituido por pruebas que la AIAG requiere, como análisis dimensionales y de materiales, entre otras; aunque, naturalmente, el cliente decidirá si es necesario agregar alguna otra prueba al paquete. Para poder elaborar un PPAP se requiere cumplir con dos condiciones:

- a) Corrida significativa de producción. Para que el estudio sea válido es necesario que el proveedor haga estas evaluaciones con base en una producción “a gran escala”, es decir,

lo que sería una corrida normal de producción. Valores más específicos referentes a “corrida significativa” se resumen en:

- a. De una a ocho horas de producción ininterrumpida,
  - b. Al menos 300 unidades consecutivas a manufacturar.
- b) Compleción de los elementos del PPAP. A menos que una prueba no pueda ser aplicada (caso que usualmente pasa con pruebas referentes a la apariencia y al desempeño), el paquete PPAP deberá estar completo para su entrega, incluyendo el diseño, las pruebas sobre el producto, las pruebas sobre el proceso y los certificados.

No cumplir con las condiciones anteriores es causa suficiente para el rechazo del paquete, y por ende, del rechazo de las piezas de manufactura.

Las circunstancias más comunes para la elaboración y entrega de un PPAP son las siguientes: cuando un producto es introducido a la cadena por primera vez, cuando se requiere de un cambio en el proceso de producción, o bajo indicaciones del cliente.

### 1.3 Niveles de un PPAP

Para su entrega, un PPAP puede ofrecerse en cinco niveles, los cuales se caracterizan por su complejidad:

- a) Nivel 1. Solamente la Garantía y, en los casos necesarios, un reporte de Aprobación de Apariencia.
- b) Nivel 2. La garantía con muestras del producto e información básica necesaria a entregar al cliente.
- c) Nivel 3. La garantía con muestras del producto e información completa entregada al cliente.
- d) Nivel 4. La garantía y otros requerimientos solicitados por el cliente.
- e) Nivel 5. La garantía con muestras del producto e información completa revisada en las instalaciones de la organización manufacturera.

Lo más común es solicitar un PPAP a Nivel 3, ya que es el más ortodoxo en cuanto a lo que refiere a AIAG, aunque para partes de producción de poca importancia suele solicitarse un Nivel 2. Otra práctica común es solicitar una revalidación del PPAP a los proveedores después de cierto tiempo (usualmente un año), como una auditoría sencilla a sus procesos: en este caso no es raro que se solicite un PPAP a Nivel 2.

### 1.4 Costo de un PPAP

Se entiende que un PPAP es un documento cuyo costo viene incluido dentro del costo de las piezas, y es un costo que puede ser rápidamente diferido por la manufactura masiva de las mismas; sin embargo, no es raro que clientes y proveedores lleguen a acuerdos en los que se solicita una cuota por cada PPAP entregado.

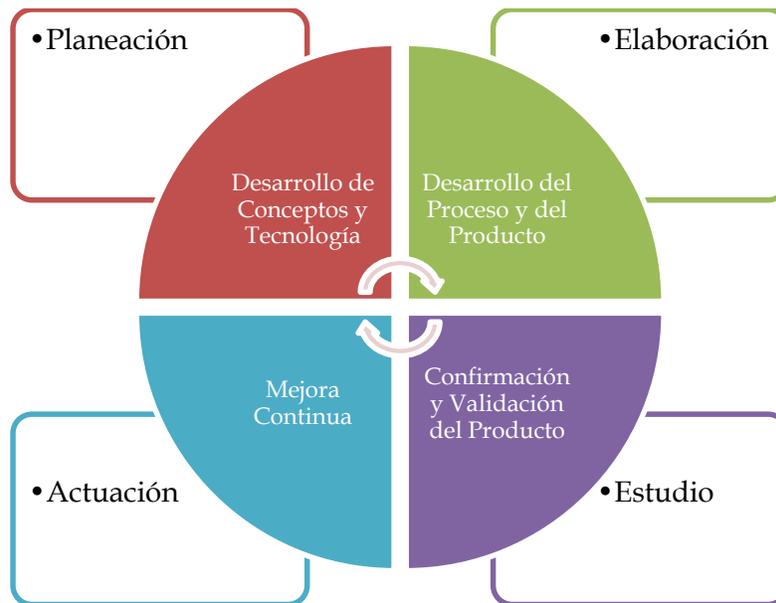
La principal razón por la cual se podría requerir un costo para la elaboración de un PPAP es que el proveedor no cuenta con la información necesaria para ofrecerlo, y debe recopilarla – cosa que se supone no debería ocurrir, dado que supuestamente los procesos de una línea de producción son constantemente monitoreados-. Las principales causas para agregarle un costo extra a un PPAP son las relacionadas a las pruebas sobre las piezas: dimensionales, de materiales, de desempeño, estadísticas, entre otras.

## Capítulo 2. PPAP y APQP

### 2.1 Introducción a APQP

El proceso de Planeación de Calidad de un Producto (o APQP, por sus siglas en inglés), es un proceso que pretende determinar cómo se trabajará la introducción de un proyecto a una organización manufacturera, es decir, la manera en que la empresa pretende comenzar la producción de una pieza. De acuerdo con el Manual de Referencia de APQP (Ford, Chrysler y General Motors), el proceso APQP tiene dos objetivos principales:

- a) Planeación, que es determinar la validación de un producto o un proceso,
- b) Implementación, que es obtener la satisfacción de los clientes y ofrecer un soporte constante en la búsqueda de mejora continua.



**Figura 2. Proceso General de APQP (reproducción).**

En la Figura 2 se muestra el proceso general que sigue el programa APQP, el cual consta de cuatro partes: planeación, elaboración, estudio y actuación.

La matriz de responsabilidades del proyecto APQP se reparte entre tres entidades: el responsable del diseño de la pieza, el responsable de la manufactura de la pieza y los responsables de los materiales para manufactura de la pieza (i.e. los proveedores). Entre estas tres entidades se reparten las siguientes tareas:

- a) Definir el alcance del nuevo proyecto,
- b) Planear y definir el proyecto,
- c) Elaborar el diseño y desarrollo del proyecto,
- d) Determinar la factibilidad de manufactura del proyecto,
- e) Diseñar el proceso de producción,
- f) Validar el producto,
- g) Llevar a cabo acciones correctivas,
- h) Elaborar los planes de control.

### 2.1.1 Beneficios de la Planeación de la Calidad de un Producto

La Planeación de la Calidad ofrece una diversidad de beneficios, entre los cuales destacan:

- a) La capacidad para dirigir los recursos principalmente a la satisfacción de los clientes,
- b) Promover la identificación anticipada de cambios requeridos en cualquier etapa del proceso,
- c) Evitar la implementación de cambios tardíos,
- d) Ofrecer productos de mejor calidad, al más bajo costo y al menor tiempo posible.

### 2.1.2 Etapas del Proceso APQP

El proceso APQP consiste en una serie de etapas:

1. La Organización del Equipo es la asignación de responsabilidades que involucren a todos los departamentos que puedan tener alguna relación directa con el producto, destacando con especial consideración al departamento de Ingeniería, Diseño de Manufactura, Administración de Materiales, Compras, Calidad, Ventas, y Servicio de Campo. Sin embargo, el proyecto no estará restringido a la organización, sino también deberá involucrar a los Proveedores y a los Clientes del proyecto.
2. El Alcance del proyecto consiste en determinar cuáles son las necesidades, expectativas y requerimientos del cliente respecto al proyecto. Es necesario determinar lo siguiente:
  - a. Se debe seleccionar a un líder del proyecto, aquél que será el responsable principal de que el proyecto se lleve a cabo;
  - b. Determinar roles y responsabilidades de cada miembro del equipo;
  - c. Identificar quiénes serán los clientes internos y externos;
  - d. Identificar cuáles son los requerimientos de los clientes;
  - e. Determinar las disciplinas, individuos y proveedores que deberán adherirse al equipo;
  - f. Identificar las expectativas de los clientes en cuanto a diseño;
  - g. Determinar la factibilidad del diseño propuesto, los requerimientos de desempeño de la pieza y seleccionar el proceso de manufactura que se utilizará;
  - h. Con base en el producto y al proceso de manufactura, calcular los costos en que se incurrirán, los tiempos que se requerirán y las restricciones a las que estará sujeto el proyecto;
  - i. Determinar en qué factores se necesita la asistencia de los clientes;
  - j. Elegir el método de documentación del proceso de planeación y de la manufactura en sí.
3. El Involucramiento entre Equipos simplemente determina, cuando sea necesario, cuáles serán las líneas de comunicación con otros equipos y clientes (e.g. reuniones).
4. Debe de tener un programa efectivo de Entrenamiento que comunique los requerimientos y desarrollo de habilidades para cumplir con las necesidades y expectativas de los clientes.
5. La organización debe de establecer un equipo multifuncional para dirigir el proceso de Planeación de Calidad de un producto, el cual involucrará principalmente a los Clientes y Proveedores.

6. Aprovechar el hecho de que los equipos se enfocan a un objetivo común, y por ello es preferible reemplazar la forma de trabajo secuencial (en la que un equipo depende del equipo anterior), por la Ingeniería Simultánea, para expedir los productos oportunamente.
7. Elaborar los Planes de Control con base en las siguientes fases:
  - a. Prototipos, que es la descripción de mediciones dimensionales y pruebas de materiales y desempeño que ocurrirán;
  - b. Pre-lanzamiento, que es identificar las características que habrá entre la finalización del prototipo y antes del inicio de producción;
  - c. Producción, que es la documentación de las características del producto, la inclusión de controles, pruebas y sistemas de medición que se utilizarán durante la producción masiva.
8. Decidir en la Resolución de Puntos de Interés quién será el responsable y cómo los solucionará.
9. Armar el Esquema de Tiempo, tomando en cuenta las siguientes consideraciones:
  - a. El tipo de producto, la complejidad del mismo y las expectativas del cliente sobre el mismo;
  - b. Acordar las acciones y los esquemas de tiempo apropiados;
  - c. Determinar las tareas, asignaciones y otros eventos;
  - d. Rastrear el avance y hacer agendas de reuniones;
  - e. Determinar la fecha de inicio y la fecha de conclusión.

### 2.1.3 Planes Relativos a la Gráfica de un Esquema de Tiempo

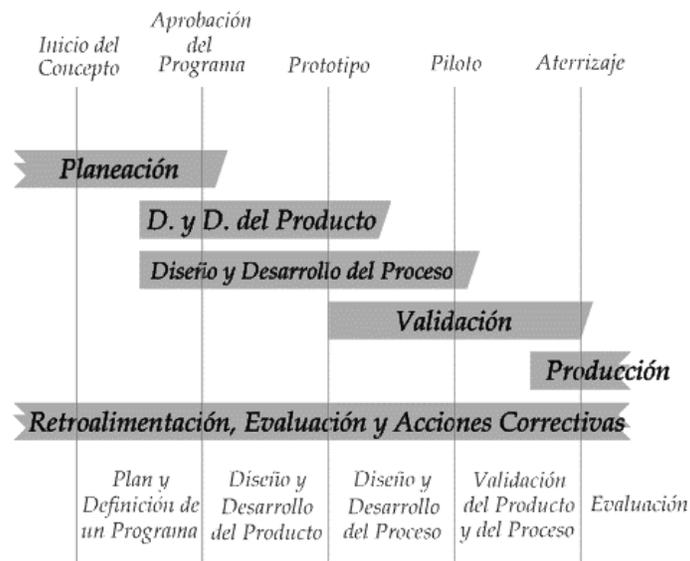


Figura 3. Esquema de Tiempo del Proceso APQP<sup>1</sup>.

- <sup>1</sup> Planeaciones de Calidad y Planes de Control (APQP / CP). AIAG, 2<sup>ND</sup> Version, 1995.

La Figura 3 muestra las diferentes etapas en las que se concretará el proceso de APQP, y a continuación se detalla cada una de éstas.

#### 2.1.3.1 Etapa de Plan y Definición de un Programa

Esta etapa resume los requerimientos y expectativas del cliente, es decir, solamente se identifican tales para concretarlos en etapas posteriores. Las siguientes son las entradas en la etapa (por lo tanto, las entradas al proceso completo). El proceso se maneja en cinco etapas, cada una de las cuales tiene una serie de entradas (información que necesita para llevarse a cabo), y salidas (información que se obtendrá en la etapa):

- a. Voz de los Clientes, que es identificar cuáles son las expectativas del cliente, mediante el análisis de quejas, recomendaciones e información histórica. Hay tres maneras de determinar este punto:
  - i. Investigación de Mercado, mediante entrevistas, cuestionarios, pruebas de mercadeo, análisis de calidad de los nuevos productos, estudios competitivos de calidad y las “cosas que están bien”.
  - ii. Información Histórica, encontrando las “cosas que están mal”, revisando garantías, indicadores de habilidades, reportes internos de calidad, rechazos y devoluciones del cliente, resolución de problemas y análisis de campo.
  - iii. Experiencia del Equipo, que es el aprovechar comentarios de los miembros del equipo, regulaciones gubernamentales, sugerencias de los clientes, rutas de transporte y clientes internos, entre otros.
- b. Plan de Negocios, que es la colocación de restricciones para la manufactura, como son el tiempo, los costos, la inversión, etc.
- c. Comparaciones Competitivas del Producto y del Proceso, el cual se basa en investigación y desarrollo, determinar la situación actual del sistema y la comparación a la que se quiere llegar.
- d. Supuestos Iniciales, que son innovaciones, materiales avanzados, evaluaciones de confiabilidad y nueva tecnología.
- e. Estudios de Confiabilidad, en donde se determina la frecuencia de reparación y resultados de confiabilidad.
- f. Necesidades y expectativas particulares del cliente.

#### 2.1.3.2 Etapa de Diseño y Desarrollo del Producto

Es una etapa de planificación de las características que se pretende tendrá el producto. Las salidas de la etapa anterior y entradas en la etapa actual:

- a. Objetivos de Diseño, que representa la “Voz de los Clientes”, traduciéndola en objetivos de diseño propuestos y medibles.
- b. Objetivos de Calidad y Confiabilidad, como ejemplos teniendo la inexistencia de fallas de seguridad o servicio: la confiabilidad de la competencia, los reportes de consumidores o la frecuencia de reparación. Se deben de usar términos probabilísticos y límites de confiabilidad.
- c. Listado de Materiales, con base en el proceso de manufactura seleccionado.
- d. Diagrama Preliminar de Flujo de Proceso.
- e. Lista preliminar de características especiales de producto y de proceso:
  - i. Análisis de necesidades y expectativas de los clientes,
  - ii. Requerimientos y objetivos de confiabilidad,

- iii. Características especiales del proceso,
  - iv. AMEFs de partes similares.
- f. Aseguramiento del producto, que es traducir los objetivos de diseño es requerimientos del producto (dependiendo del cliente); establecer los objetivos y requerimientos de confiabilidad, durabilidad, etc.; analizar la introducción de nuevas tecnologías, la complejidad del proceso, la obtención de los materiales, la aplicación, consideraciones medio ambientales, las necesidades de empaque, servicio y los requerimientos de manufactura; elaborar un Análisis de Modo de Falla, y determinar los requerimientos preliminares de normas y especificaciones ingenieriles.
- g. Apoyo de la Administración.

### 2.1.3.3 Etapa de Diseño y Desarrollo del Proceso

Se muestran a continuación las salidas de la etapa anterior y entradas en la etapa actual. En este caso, se dividirán en dos secciones, con base en las responsabilidades del diseñador de la pieza y del responsable de calidad. Aquí se evalúan las características del diseño, las dimensiones, materiales, entre otras cosas. Las relacionadas al diseñador de la pieza son:

- a. Análisis de Modo y Efecto de Falla del Diseño.
- b. Diseño para la factibilidad de manufactura y ensamble, que es optimizar la función de diseño, la facilidad de manufactura y la facilidad del ensamble:
  - i. Concepto del producto, diseño, función y sensibilidad a la variación;
  - ii. Establecer el proceso de manufactura y ensamble;
  - iii. Definir las tolerancias dimensionales;
  - iv. Establecer los requerimientos de desempeño;
  - v. Determinar el número de componentes;
  - vi. Hacer los ajustes respectivos al proceso;
  - vii. Establecer el manejo de los materiales.
- c. Revisiones de Diseño, es decir, la evaluación de las consideraciones de requerimientos de funcionalidad o de diseño, de objetivos de confiabilidad, de ciclos de servicio del componente o sistema, de simulación por computadora, de diseño para facilidad de manufactura y ensamble, de AMEF-Ds, de diseño de experimentos, de fallas de pruebas, entre otros.
- d. Plan de Control, en la etapa de construcción de prototipos, que incluye la descripción de las mediciones dimensionales y pruebas de materiales y de desempeño que ocurrirán durante la manufactura del prototipo. Para la revisión de los prototipos debe asegurarse lo siguiente:
  - i. Asegurar que el producto cumplirá con las especificaciones,
  - ii. Asegurarse que se da particular atención a las características especiales del producto o del proceso,
  - iii. Recopilar los datos para determinar los parámetros y requerimientos del empaque,
  - iv. Comunicar consideraciones especiales, desviaciones o cambios al costo al cliente.
- e. Revisión de los Dibujos y Planos de Ingeniería, con enfoque a:
  - i. Características especiales,
  - ii. Dimensiones "datum" (de referencia especial),
  - iii. Diseño de calibres y equipos de prueba de funcionalidad,
  - iv. Factibilidad y congruencia con la industria.

- f. Especificaciones Ingenieriles, como requerimientos de funcionalidad, durabilidad y apariencia, tamaños de la muestra, frecuencia y criterios de aceptación.
- g. Especificaciones de Materiales, como las propiedades físicas (dimensionales y de materiales), de desempeño, medioambientales, de manejo de productos y de almacenamiento de los mismo.
- h. Comunicación oportuna sobre cambios necesarios a las características de la pieza.

A continuación se muestran aquellas características relacionadas al responsable de calidad:

- a. Asegurar la obtención oportuna de los equipos, herramientas e instalaciones que se utilizarán para la manufactura del producto;
- b. Enfoque y énfasis a las características especiales, resultado de la Voz del Cliente.
- c. Requerimientos para el equipo de prueba y calibres, es decir, los materiales necesarios y el diseño de la estructura y funcionamiento del equipo de prueba.
- d. Compromiso de factibilidad del equipo y apoyo de la administración, quienes deben poder asegurar la correcta entrega del producto al cliente bajo condiciones aceptables.

#### 2.1.3.4 Etapa de Validación del Producto y del Proceso

Esta etapa es prácticamente concretar todos los esfuerzos en estándares y controles medibles y fáciles de analizar: es aquí donde se involucran los procesos que estarán involucrados al producto. Se muestran las salidas de la etapa anterior (entradas a esta etapa):

- i. Asegurar la integridad del empaque y de su contenido, con base en especificaciones o estándares de empaque.
- j. Revisión del Sistema de Calidad del Producto o Proceso.
- k. Llevar a cabo el Diagrama de Flujo del proceso, para analizar las posibles fuentes de variación en las máquinas, en los materiales, en los procedimientos y en la mano de obra.
- l. El *layout* de Plan de Piso evaluará la factibilidad de la colocación de los puntos de control, las gráficas de control, la aplicación de ayudas visuales, las estaciones temporales de reparación y las áreas de almacenamiento con material no conforme.
- m. Matriz de características, que es una técnica utilizada para desplegar la relación entre los parámetros del proceso y las estaciones de manufactura.
- n. Análisis de Modo y Efecto de Falla del Proceso (AMEF-P).
- o. Plan de Control de Prelanzamientos, el cual se enfoca en mediciones dimensionales, características de los materiales y del desempeño después de los prototipos y antes del Inicio de Producción. Debe incluir controles adicionales, con el propósito de contener inconformidades potenciales; inspecciones más frecuentes; mayor cantidad de puntos de chequeo; introducción de evaluaciones estadísticas; y un incremento en la cantidad de auditorías.
- p. Instrucciones del proceso, las cuales son obtenidas de los AMEFs, planes de control, dibujos de ingeniería, especificaciones y estándares, diagramas de flujo, matrices de características, normas de empaque, parámetros del proceso, etc.
- q. Determinar mediante el MSA cuáles son los equipos apropiados para la evaluación de las piezas. Deben evaluarse la linealidad, la exactitud, la repetibilidad y reproducibilidad, los calibres y sus correcciones, entre otros.
- r. Estudios de habilidad, como análisis de la capacidad del proceso y gráficos de control.
- s. Especificaciones del empaque, para asegurarse que el empaque cumple con los requerimientos del cliente y otros estándares.

- t. Apoyo de la administración, que se traduce en reforzar el compromiso de la administración para concluir todas las fases.

#### 2.4.3.5 Etapa de Evaluación

Las entradas a esta etapa se enfocan en analizar si el proceso es adecuado o debe sufrir modificaciones. La información que requiere es:

- u. Corrida de Prueba, la cual debe de utilizar los materiales que realmente se utilizarían para la producción regular, y es en este proceso donde se evaluará la efectividad del proceso. Sus resultados se resumirán en:
  - i. Estudios preliminares de habilidad;
  - ii. Evaluaciones MSA;
  - iii. Factibilidad final;
  - iv. Liberación de la Planeación de la Calidad;
  - v. Evaluaciones de Empaque;
  - vi. El PPAP.
- v. MSA, para revisar si las características escritas en el Plan de Control corresponden a los requerimientos establecidos en el diseño de ingeniería.
- w. SPC y PPAP.
- x. Asegurar que el empaque al menos tendrá la protección básica contra los factores ambientales más frecuentes.
- y. Plan de Control de la Producción. Es el plan de control que se utilizará mientras la producción se esté llevando a cabo, siendo un resumen de los controles para partes y procesos. Naturalmente, cualquier cambio que suceda en la línea de producción deberá reflejarse en el mismo Plan de Control.
- z. Liberación de Planeaciones de Calidad y apoyo administrativo. Deben de aprobarse los siguientes procesos para comenzar la producción:
  - i. Planes de Control,
  - ii. Instrucciones de Proceso,
  - iii. Equipo de Prueba y calibres.

Finalmente, las evaluaciones proporcionarán las siguientes salidas:

- a. Gráficos de control. Su objetivo es la reducción de la variación: el entendimiento de las causas comunes y raras de la variación, y propuestas completas (costos, tiempos, mejoras, etc.) para reducirlas. Debe recordarse que la decisión de implementar, negociar o avanzar a un siguiente nivel de diseño es prerrogativa, principalmente, del cliente.
- b. Satisfacción del cliente. Los resultados obtenidos durante la planeación de calidad no siempre son una garantía de la completa satisfacción del cliente. Desde los costos hasta alguna dimensión de la pieza podría llegar a representar una inconformidad. La etapa de uso requiere de la participación tanto del cliente, de la organización y del proveedor. Todos deben buscar la realización de cambios para corregir las deficiencias y lograr la satisfacción del cliente final.
- c. Envío y servicio. Debe de haber una asociación entre el cliente y la organización para la solución de problemas y la mejora continua: Las partes para reemplazo y las operaciones de servicio siempre ameritan la misma consideración de calidad, costo y envío; y las fallas en corregir un problema afectan las relaciones con los clientes y la reputación con el proveedor.

## 2.2 APQP y el proceso PPAP

PRODUCT QUALITY PLANNING SUMMARY AND SIGN OFF SHEET				
		Date: _____		
Part Name: _____	Part Number: _____			
Customer: _____	Manufacture Location: _____			
<b>1. INITIAL PROCESS STUDIES</b>				
		QUANTITY		
P <sub>pk</sub> SPECIAL CHARACTERISTICS	REQUIRED	ACCEPTABLE	PENDANT*	
<b>2. CONTROL PLAN APPROVAL (IF REQUIRED)</b>				
APPROVED: YES / NO - APPROVAL DATE: _____				
<b>3. SAMPLES OF PRODUCTION</b>				
		QUANTITY		
	SAMPLES	CHAR / SAMPLE	ACCEPTABLE	PENDANT*
DIMENSIONAL				
VISUAL				
LABORATORY				
PERFORMANCE				
<b>4. CHECKING AIDS / MEASUREMENT SYSTEM ANALYSIS</b>				
		QUANTITY		
SPECIAL CHARACTERISTICS	REQUIRED	ACCEPTABLE	PENDANT*	
<b>5. PROCESS MONITORING</b>				
		QUANTITY		
	REQUIRED	ACCEPTABLE	PENDANT*	
PROCESS MONITORING INSTRUCTIONS				
OPERATIONS DATA SHEETS				
VISUAL AIDS				
<b>6. PACKING / SHIPMENT</b>				
		QUANTITY		
	REQUIRED	ACCEPTABLE	PENDANT*	
PACKING APPROVAL				
SHIPMENT APPROVAL				
<b>7. SIGN-OFF</b>				
_____		_____		
Team Member / Title / Date		Team Member / Title / Date		
_____		_____		
Team Member / Title / Date		Team Member / Title / Date		
_____		_____		
Team Member / Title / Date		Team Member / Title / Date		
*IT REQUIRES AN ACTION PLAN TO CHECK IMPROVEMENTS.				

**Formato 1. Resumen de la Planeación de Calidad del Producto y Hoja de Lanzamiento. Planeaciones de Calidad y Planes de Control (APQP / CP). AIAG, 2<sup>ND</sup> Version, 1995.**

Como ya habíamos mencionado, APQP y PPAP son parte de un conjunto de cinco herramientas denominadas como “herramientas centrales”, en las que aquellas faltantes de mencionar suelen formar parte de un PPAP (plan de control, control estadístico de procesos y análisis del sistema de medición).

Para trabajarlas de manera íntegra consideraremos a APQP como el proceso inicial para asegurar la calidad en un nuevo proyecto y a PPAP como un proceso dedicado a la evaluación del mismo.

El documento que suele resumir la compleción del programa de planeación se denomina PSO ('Process Sign Off', ejemplo mostrado en el Formato 1), el cual es básicamente una evaluación por parte del cliente de los procesos de aseguramiento de la calidad de sus proveedores.



### 3.2 Análisis de Modo y Efecto de Falla (AMEF)

Es un resumen que clasifica y prioriza aquellas situaciones que pueden representar una amenaza de cualquier índole a la producción “armoniosa” de una línea de producción. Indica también la importancia específica de las características pertenecientes a la pieza a manufacturar (en especial de aquellas consideradas como críticas, es decir, que pueden presentar una amenaza a la seguridad del usuario), y una suposición de los efectos y consecuencias de que dicha falla se suscite.

Cuando el cliente sea el responsable por el diseño, no es necesario que haga entrega de una copia del documento al proveedor, pero sí es necesario que haga énfasis en señalar las características críticas, para que puedan ser tomadas en cuenta tanto en el AMEF como en el Plan de Control.

La manera tradicional de identificar las fallas potenciales es hacer comparaciones con experiencias de manufactura similares, haciéndolo un análisis ciertamente inductivo; aunque esto se compensa con el hecho de que un análisis bien elaborado puede hacerse únicamente cuando se tiene una absoluta comprensión de los mecanismos de falla. Se recomienda hacer este análisis lo antes posible (a una etapa temprana del ciclo de vida del producto), para poder minimizar estos daños lo antes posible.

#### 3.2.1 Alternativas al AMEF

El AMEF no es la única herramienta que puede demostrar aquellos elementos que pudieren constituir un riesgo dentro del proceso. Debemos considerar dos alternativas similares: una versión más avanzada del AMEF, el AMECF; y el Análisis de Árbol de Fallas.

- a) Análisis de Criticidad (AMECF). Éste análisis es ciertamente más complicado que el AMEF tradicional, ya que incluye un tercer factor, la “criticidad” de la falla. Éste cuarto elemento se basa en un análisis más objetivo de la frecuencia de ocurrencia de la falla, más específicamente en dos números críticos: el número crítico de modo y el número crítico de elemento. Los valores para calcular estos dos números se encuentran en estándares o bases de datos, como las normas militares MIL o los análisis de RIAC (Reliability Information Analysis Center).
- b) Análisis de Árbol de Fallas. Es un análisis parecido al AMEF, pero trabaja mediante una secuencia inversa (desde la etapa final de la producción hacia las etapas más tempranas), además de que se basa en un diagrama de símbolos, en lugar de hacerlo mediante una tabla de características. Actualmente éste es el elemento más confiable para un análisis de este tipo; sin embargo, aún puede utilizar al AMEF como una de sus herramientas para buscar las limitaciones de procesos más específicos: mientras el Árbol de Fallas puede utilizarse como una herramienta de carácter general, el AMEF puede utilizarse como una herramienta para el análisis de procesos y operaciones específicas.

#### 3.2.2 Elementos de un AMEF

Es necesario seguir ciertos lineamientos básicos en la elaboración del documento, destacando la inclusión de los siguientes campos:

- a) Como en cualquier reporte, el AMEF debe de indicar características generales sobre la pieza que se está manufacturando: Número de Parte, Descripción, Nivel, etc...

- b) El AMEF está íntimamente relacionado con el Diagrama de Flujo de Proceso, por lo cual se espera que siga la misma secuencia lógica que éste. Por ello, el código que enumera al Diagrama de Flujo deberá ser correspondiente a aquél que enumere al AMEF.
- c) Se debe de establecer el requerimiento inicial del cliente, es decir, la justificación de cada una de las operaciones y qué características se pretende atacar en cada paso del proceso.
- d) Se indican cada una de las situaciones o modos en que se supone podría fallar la línea de producción o el diseño, es decir, ¿qué podría pasar que fuese considerado un fallo dentro de la línea de producción?
- e) Se indican a continuación todos los efectos posibles consecuencia del modo de falla que ya fue especificado, o sea, ¿en qué afecta que haya sucedido tal o cual error en la manufactura?
- f) Llega la primera clasificación de fallas: la “Severidad”. Ésta consiste en la importancia o la gravedad de la falla que podría ocurrir en el sistema, y se clasifica en dos apartados: severidad contra el cliente y contra el operador y la organización en sí. Ambas escalas van del 1 al 10 (tradicionalmente), donde el número 1 implica que no hay efectos de importancia ni daños aparentes; mientras que el 10 implica comprometer la seguridad del cliente final (el conductor y pasajeros del vehículo), no cumplir con regulaciones gubernamentales o representar un peligro para la vida del operador, la maquinaria o el ensamble.
- g) También debe de especificarse cuando se tiene la existencia de una característica crítica (una característica de especial importancia).
- h) Debe enlistarse el mayor número de causas posibles que puedan provocar la falla, haciendo una comparación con procesos similares sobre los que se tenga experiencia y analizando el proceso para identificar otras posibles causas.
- i) Otro proceso para la determinación de la importancia de cada paso del proceso en el AMEF es la “Ocurrencia”: también es un valor sencillo del 1 al 10, pero esta vez representa la posibilidad de que ocurra una situación desfavorable para la producción. Uno significa que la falla es virtualmente inexistente, debido al estricto control preventivo del proceso (2 implica una ocurrencia de uno dentro de un millón), mientras que 10 significa que más de una de cada diez piezas presenta dicha falla o una similar. Muy relacionado a este punto es el qué está haciendo la organización para reducir este indicador al máximo: deben enlistarse todos estos puntos.
- j) El último indicador base es denominado “Detección”: la capacidad de la organización para identificar fallas cuando ocurran. El nivel más alto (1) implica que no es necesario llevar a cabo una detección o un sistema correctivo, ya que el sistema de manufactura del producto está diseñado para evitar la finalización de la pieza desde que se ha detectado la falla (es decir, la pieza ni siquiera continúa en el proceso); mientras el último nivel (10) implica que no es posible detectar dicha falla en el proceso (es decir, no hay control de ese proceso, no puede detectarse o no es analizado).

- k) Finalmente, los tres indicadores principales (Severidad, Ocurrencia y Detección) se multiplican entre sí para obtener el RPN (Número de Prioridad de Riesgo). Es aquí donde se ve claro el objetivo del AMEF: el determinar qué paso del proceso debe de atacarse primero, o sea, ¿qué paso del proceso de producción es el más crítico? El paso que tenga el RPN más alto implicará que tiene niveles altos en los tres aspectos.
- l) Finalmente se incluyen las acciones recomendadas y la repartición de responsabilidades, para dar paso a un sector de evaluación de las medidas tomadas para reducir los RPN. Cuando se finalicen las acciones necesarias el proceso deberá comenzar de nuevo.

Respectivos ejemplos de AMEFs de diseño y de proceso se muestran en los Formatos 3 y 4 de las páginas siguientes:







### 3.3.1 Elementos de un Plan de Control

Como en el caso del AMEF, es necesario que también el Plan de Control cumpla con requerimientos base para su mejor evaluación y control.

- a) Primero es necesario que el Plan de Control contenga la información base sobre la pieza(s) que se están manufacturando, como el Número de Parte y el Nivel de Ingeniería, la Descripción, los nombres de los integrantes del equipo de control, y el código del Plan de Control (éste documento debe de estar controlado).
- b) El Plan de Control debe de tener la misma secuenciación que tienen el Diagrama de Flujo y el AMEF, para poder relacionarlos entre sí.
- c) Debe darse una breve descripción del proceso sobre el que se está trabajando, además de indicar la maquinaria y equipo que se necesita para completar cada tarea.
- d) También hay que hacer referencia a las características que se encuentran en los Planos de Ingeniería, indicar si son características críticas y especificar cuál es la especificación para el trabajo de tales características.
- e) Se debe indicar cómo se evaluará que cada dimensión/característica está dentro de control: utilizando calibres, Vernier, escantillones, etc...; además de indicar cuál será el tamaño de la muestra y la frecuencia con que ésta se tomará.
- f) Finalmente se debe indicar el método de control de cada característica, y qué acciones se tomarán en caso de que ocurra una falla (¿cuál es el plan de contención/corrección?).

### 3.4 Análisis del Sistema de Medición

El propósito de este documento es mostrar al cliente el cómo se evalúa si los sistemas de evaluación de las características de las piezas a manufacturar son los adecuados, además de si están en buenas condiciones. Los métodos más tradicionales se basan en el Diseño de Experimentos, separando el examen en dos partes: la participación del operador y la participación de los equipos. Actualmente se utilizan tres técnicas para un MSA:

- a) R&R. En éste análisis se evalúa la participación que podrían tener tanto el operador como el instrumento de medición en los resultados finales de la evaluación de una pieza. Para poder llevar utilizar este instrumento se requiere que tres operadores midan tres veces diez muestras de un producto, generando un total de 90 valores. El Formato 6 muestra un ejemplo de cómo se muestra la recolección de datos, de acuerdo a lo recomendado por AIAG. Luego se procede con el siguiente cálculo:

Primero es necesario obtener el promedio de los datos que cada operador obtuvo:

$$\bar{x}_j = E(\bar{x}_{ij}); \bar{R}_j = E(\bar{R}_{ij});$$

Donde  $x_{ij}$  es cada una de las mediciones de cada pieza  $i$ , realizadas por el operador  $j$ . Cuando se complete esta información, se puede obtener el promedio general para cada pieza (sin tomar en cuenta las diferencias entre los operadores):

$$\bar{\bar{x}} = E(\bar{x}_i); R_p = \max \bar{x}_i - \min \bar{x}_i;$$

También debe obtenerse el promedio de los rangos:

$$\bar{\bar{R}} = \frac{\sum_{j=1}^n \bar{R}_j}{n};$$

La diferencia entre el valor máximo de  $x_j$  y el mínimo:

$$\bar{x}_{DIFF} = \max \bar{x}_j - \min \bar{x}_j;$$

Gage Repeatability and Reproducibility Data Collection Sheet											
Appraiser / Trial#	PART										AVERAGE
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
A 1	1.340	1.400	1.040	0.920	1.360	0.970	0.770	0.440	0.660	0.270	
2	1.420	1.350	1.030	0.900	1.410	0.890	0.740	0.460	0.580	0.360	
3	1.430	1.400	1.100	1.020	1.440	0.900	0.720	0.370	0.710	0.260	
Average	1.397	1.383	1.057	0.947	1.403	0.920	0.743	0.423	0.650	0.297	$\bar{X}_a = 0.922$
Range	0.090	0.050	0.070	0.120	0.080	0.080	0.050	0.090	0.130	0.100	$\bar{R}_a = 0.086$
B 1	1.320	1.340	1.210	0.740	1.330	0.910	0.930	0.550	0.800	0.390	
2	1.280	1.310	1.260	0.660	1.300	0.850	0.890	0.640	0.790	0.420	
3	1.420	1.440	1.160	0.730	1.250	0.910	0.980	0.590	0.740	0.440	
Average	1.340	1.363	1.210	0.710	1.293	0.890	0.933	0.593	0.777	0.417	$\bar{X}_b = 0.953$
Range	0.140	0.130	0.100	0.080	0.080	0.060	0.090	0.090	0.060	0.050	$\bar{R}_b = 0.088$
C 1	1.400	1.580	0.950	0.840	1.240	0.820	0.900	0.270	0.730	0.350	
2	1.320	1.620	0.880	0.850	1.260	0.920	0.860	0.350	0.730	0.440	
3	1.410	1.670	0.940	0.790	1.290	0.780	0.820	0.250	0.770	0.300	
Average	1.377	1.623	0.923	0.827	1.263	0.840	0.860	0.290	0.743	0.363	$\bar{X}_c = 0.911$
Range	0.090	0.090	0.070	0.060	0.050	0.140	0.080	0.100	0.040	0.140	$\bar{R}_c = 0.086$
Part Average	1.371	1.457	1.063	0.828	1.320	0.883	0.846	0.436	0.723	0.359	$\bar{X} = 0.929$
											$R_p = 1.098$
$([\bar{R}_a = 0.086] + [\bar{R}_b = 0.088] + [\bar{R}_c = 0.086]) / [\# \text{ OF APPRAISERS} = 3] =$											$\bar{R} = 0.087$
$\bar{X}_{\text{range}} = [\text{Max } \bar{X} = 0.953] - [\text{Min } \bar{X} = 0.911] =$											$\bar{X}_{\text{range}} = 0.042$
$*UCL_R = [\bar{R} = 0.087] \times [D_4 = 2.58] =$											0.22446
<p>*<math>D_4 = 3.27</math> for 2 trials and <math>2.58</math> for 3 trials. <math>UCL_R</math> represents the limit of individual <math>R</math>'s. Circle those that are beyond this limit. Identify the cause and correct. Repeat these readings using the same appraiser and unit as originally used or discard values and reaverage and recompute <math>\bar{R}</math> and the limiting value from the remaining observations.</p>											
<p>Notes: <span style="background-color: #cccccc; display: inline-block; width: 500px; height: 20px;"></span></p>											

Formato 6. Hoja de Recolección de Datos del Análisis GRyR.  
Measurement System Analysis. AIAG, 4<sup>TH</sup> Version, 2010.

De este proceso se obtendrán varios parámetros:

- a. Repetibilidad (EV), la cual representa la variación provocada por el equipo:

$$EV = \bar{R} \cdot k_1;$$

Donde  $k_1$  puede tomar los valores mostrados en la Tabla 1:

Intentos	$k_1$
2	0.8862
3	0.5908

Tabla 1. Valores de Repetibilidad (EV).  
Measurement System Analysis. AIAG, 4<sup>TH</sup> Version, 2010.

- b. Reproducibilidad (AV), que representa la variación provocada por los operadores:

$$AV = \sqrt{(\bar{x}_{DIFF} \cdot k_2) - \left(\frac{EV^2}{nr}\right)};$$

Donde  $k_2$  tomará los valores mostrados en la Tabla 2.

Operadores	$k_2$
2	0.7071
3	0.5231

**Tabla 2. Valores de Reproducibilidad (AV).**  
*Measurement System Analysis. AIAG, 4<sup>TH</sup> Version, 2010.*

- c. R&R (GRR), que representa la variación que no es provocada por las mismas piezas. Ésta variación idealmente no debería existir, y en la realidad debe de ser muy pequeña; mientras más grande sea la participación de R&R en el porcentaje total, significará que el sistema de medición no es lo suficientemente confiable como para realizar su tarea:

$$GRR = \sqrt{EV^2 + AV^2};$$

- d. Variación de las Piezas, que es la parte que debe llevarse la mayor participación, en comparación con las otras dos:

$$PV = R_p \cdot k_3;$$

Donde  $k_3$  puede tomar los valores mostrados en la Tabla 3.

Piezas	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$k_3$	0.7071	0.5231	0.4467	0.4030	0.3742	0.3534	0.3375	0.3249	0.3146

**Tabla 3. Valores de variación de las piezas.**  
*Measurement System Analysis. AIAG, 4<sup>TH</sup> Version, 2010.*

- e. Variación Total, que simplemente representa la variación dada por todas las piezas.

$$TV = \sqrt{GRR^2 + PV^2};$$

Tradicionalmente, un porcentaje de variación de cada sección (exceptuando la variación de las piezas, claro) sobre la variación total, aceptable se encuentra por debajo del 15%.

- f. El Número de Categorías Distintas:

$$ndc = 1.41 \left(\frac{PV}{GRR}\right);$$

Este elemento tomará un valor de 1 cuando se prueban diez partes y éstas muestras la misma medida (lo que para un sistema de medición es inservible); y aumentará su valor conforme varíen tales mediciones, así que se puede tomar como un indicador de la capacidad de resolución de un instrumento. Se considera aceptable cuando éste valor supera los 5 puntos, ya que, por ejemplo, cuando tiene un valor de dos puntos, podríamos decir (de una manera muy burda) que el instrumento solamente es capaz de diferenciar entre valores relativos denominados “pequeño” y “grande”.

<b>Gage Repeatability and Reproducibility Report</b>																							
Part Number:		Gage Name:																					
Part Name:		Gage No:																					
Characteristics:		Gage Type:																					
Specifications:		Date:																					
		Performed by:																					
		Tolerance:	0.08																				
		<input checked="" type="radio"/> Total Variation Method	<input type="radio"/> Tolerance Method																				
From data sheet: $\bar{R} = 0.087$		$\bar{X}_{DIFF} = 0.042$	$R_p = 1.098$																				
Measurement Unit Analysis		% Total Variation (TV)																					
Repeatability - Equipment Variation (EV)																							
$EV = \bar{R} \times K_1$ $= 0.087 \times 0.5908$ $= 0.051$		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Trials</th> <th>K<sub>1</sub></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2</td> <td>0.8862</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>0.5908</td> </tr> </tbody> </table>		Trials	K <sub>1</sub>	2	0.8862	3	0.5908														
Trials	K <sub>1</sub>																						
2	0.8862																						
3	0.5908																						
		$\%EV = 100[EV/TV]$ $= 100[0.051 / 0.350]$ $= 14.6\%$																					
Reproducibility - Appraiser Variation (AV)																							
$AV = \sqrt{(\bar{X}_{DIFF} \times K_2)^2 - (EV^2 / (nr))}$ $= \sqrt{(0.042 \times 0.523)^2 - (0.051^2 / (10 \times 3))}$ $= 0.020$		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Appraisers</th> <th>2</th> <th>3</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>K<sub>2</sub></td> <td>0.7071</td> <td>0.5231</td> </tr> </tbody> </table>		Appraisers	2	3	K <sub>2</sub>	0.7071	0.5231														
Appraisers	2	3																					
K <sub>2</sub>	0.7071	0.5231																					
		$\%AV = 100[AV/TV]$ $= 100[0.020 / 0.350]$ $= 5.6\%$																					
Repeatability & Reproducibility (GRR)																							
$GRR = \sqrt{EV^2 + AV^2}$ $= \sqrt{(0.051^2 + 0.020^2)}$ $= 0.055$		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Parts</th> <th>K<sub>3</sub></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2</td> <td>0.7071</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>0.5231</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>0.4467</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>0.4030</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>0.3742</td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>0.3534</td> </tr> <tr> <td>8</td> <td>0.3375</td> </tr> <tr> <td>9</td> <td>0.3249</td> </tr> <tr> <td>10</td> <td>0.3146</td> </tr> </tbody> </table>		Parts	K <sub>3</sub>	2	0.7071	3	0.5231	4	0.4467	5	0.4030	6	0.3742	7	0.3534	8	0.3375	9	0.3249	10	0.3146
Parts	K <sub>3</sub>																						
2	0.7071																						
3	0.5231																						
4	0.4467																						
5	0.4030																						
6	0.3742																						
7	0.3534																						
8	0.3375																						
9	0.3249																						
10	0.3146																						
		$\%GRR = 100[GRR/TV]$ $= 100[0.055 / 0.350]$ $= 15.7\%$																					
Part Variation (PV)																							
$PV = R_p \times K_3$ $= 1.098 \times 0.315$ $= 0.345$		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Parts</th> <th>K<sub>3</sub></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>7</td> <td>0.3534</td> </tr> <tr> <td>8</td> <td>0.3375</td> </tr> <tr> <td>9</td> <td>0.3249</td> </tr> <tr> <td>10</td> <td>0.3146</td> </tr> </tbody> </table>		Parts	K <sub>3</sub>	7	0.3534	8	0.3375	9	0.3249	10	0.3146										
Parts	K <sub>3</sub>																						
7	0.3534																						
8	0.3375																						
9	0.3249																						
10	0.3146																						
		$\%PV = 100[PV/TV]$ $= 100[0.345 / 0.350]$ $= 98.8\%$																					
Total Variation (TV)																							
$TV = \sqrt{GRR^2 + PV^2}$ $= \sqrt{(0.055^2 + 0.345^2)}$ $= 0.350$		$ndc = 1.41(PV/GRR)$ $= 1.41[0.345 / 0.055]$ $= 9$																					
For information on the theory and constants used in the form see MSA Reference Manual, Fourth Edition.																							

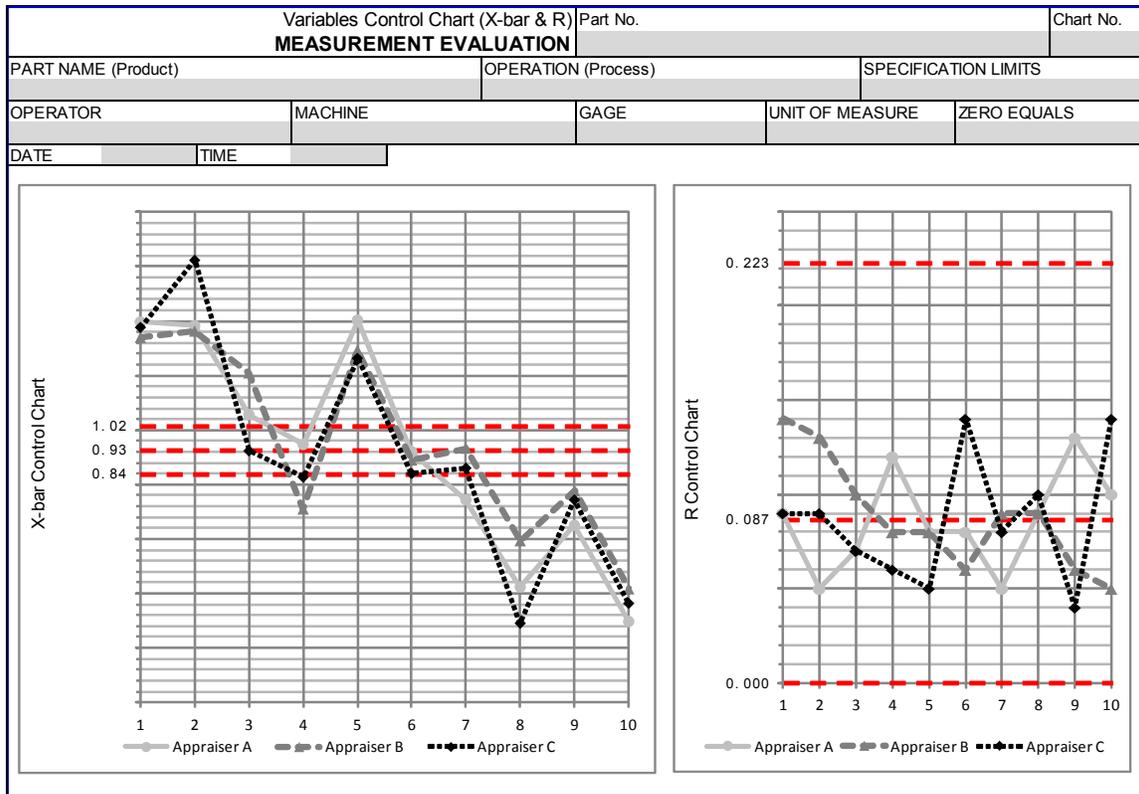
**Formato 7. Reporte del Análisis GRyR.**  
**Measurement System Analysis. AIAG, 4<sup>TH</sup> Version, 2010.**

También hay que notar que se toman dos corrientes para realizar un análisis como éste:

- Se puede llevar a cabo el análisis con base en la participación sobre la variación total, es decir, mediante un análisis abstracto determinar si la variación del sistema completo es aceptable;
- O evaluándolo contra las especificaciones, que usualmente son más permisivas, por ser más amplias.

El Formato 7 muestra la presentación que suele tener el reporte de resultados, de acuerdo a las recomendaciones de AIAG.

En un análisis MSA también suele incluirse una gráfica que representa la variación de las 10 piezas sobre una línea (Formato 8). Se espera que la variación de éstas, comparada con los límites de control, sea considerable, por tratarse de un análisis que requiere cierta variación entre las piezas para su correcta evaluación.



**Formato 8. Gráficos de Control correspondientes al Análisis GRyR.**  
*Measurement System Analysis. AIAG, 4<sup>TH</sup> Version, 2010.*

- b) ANOVA. El uso de herramientas estadísticas tradicionales no está restringido en la evaluación, como lo muestra Formato 9. Muchos encargados de aseguramiento de la calidad prefieren un reporte ANOVA tradicional sobre un reporte GR&R. Lo único que se debe tomar en cuenta es que las categorías deben de ser las mismas: variación por el operador, por las mismas piezas y por el equipo.

### Gage Repeatability & Reproducibility ANOVA Report

Part Number: _____	Gage Name: _____	Date: _____
Part Name: _____	Gage No: _____	Performed By: _____
Characteristics: _____	Gage Type: _____	
Specifications: _____		

#### Measurement Unit Analysis

Source	DF	SS	MS	F
Appraiser	1	1.6000	1.6000	1.7143
Parts	9	15.5000	1.7222	1.8452
Appraiser by Part	9	8.4000	0.9333	0.9333
Equipment	20	20.0000	1.0000	
Total	39	45.5000	$\alpha = 5\%$	F = 2.3928

Estimate of Variance	Std. Dev. ( $\sigma$ )	6 ( $\sigma$ )	% Total Variation	%Contribution
$\tau^2 = 1.00000$ (Equipment)	1.00000	EV = 6.00	90.15%	81.26%
$\omega^2 = 0.03333$ (Appraiser)	0.18257	AV = 1.10	16.46%	2.71%
$\gamma^2 = 0.00000$ (Interaction)	0.00000	INT = 0.00	0.00%	0.00%
GRR = 1.03333 ( $\tau^2 + \gamma^2 + \omega^2$ )	1.01653	GRR = 6.10	91.64%	83.97%
$\sigma^2 = 0.1972222$ (Part)	0.44410	PV = 2.66	40.03%	16.03%
Total Variation	1.10930	TV = 6.66	100.00%	
				$ndc = 0$

**Formato 9. Análisis ANOVA para GRyR.**  
**Measurement System Analysis. AIAG, 4<sup>TH</sup> Version, 2010.**

- c) Cuando el instrumento a evaluar es un escantillón (un elemento especialmente diseñado que funciona mediante un sistema “pasa-no pasa”), se utiliza una técnica diferente. Aquí no obtendremos datos puntuales, sino más bien elementos 1 y 0, como lo muestra el

Formato 10. Se recomienda la evaluación de al menos 30 piezas, cada una evaluada 3 veces por tres operadores diferentes, donde, de acuerdo al Formato 10, los operadores se representan por las letras A, B y C.

<b>Gage Repeatability &amp; Reproducibility Attribute Study Data Sheet</b>											
Part Number: _____			Gage Name: _____			Date: _____					
Part Name: _____			Gage No: _____			Performer: _____					
Characteristics: _____			Gage Type: _____								
Specifications: _____											
Part	A - 1	A - 2	A - 3	B - 1	B - 2	B - 3	C - 1	C - 2	C - 3	Reference	Code
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	+
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	+
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
6	1	1	0	1	1	0	1	0	0	1	×
7	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	×
8	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	+
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	+
11	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	+
12	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	×
13	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	+
14	1	1	0	1	1	1	1	0	0	1	×
15	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	+
16	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	+
17	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	+
18	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	+
19	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	+
20	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	+
21	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	×
22	0	0	1	0	1	0	1	1	0	0	×
23	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	+
24	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	+
25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
26	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	×
27	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	+
28	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	+
29	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	+
30	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	×
31	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	+
32	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	+
33	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	+
34	0	0	1	0	0	1	0	1	1	0	×
35	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	+
36	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	×
37	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
38	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	+
39	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-

Formato 10. Ejemplo de Hoja de Recolección de Datos para Análisis GRyR en Datos de Atributos.  
Measurement System Analysis. AIAG, 4<sup>TH</sup> Version, 2010.

A cada una de las evaluaciones se le comparará con las otras pertenecientes a la misma pieza, pero a diferente operador (comparándolas en parejas); y contra una indicada como “de referencia”, la cual indica cuál fue el resultado mayoritario de la evaluación de cada pieza (es una evaluación simple que indica “ok” si hay más de 5 1’s, y “nok” si no es así).

<b>Gage Repeatability &amp; Reproducibility Attribute Study Report</b>				
Part Number: _____		Gage Name: _____		Date: _____
Part Name: _____		Gage No: _____		Performer: _____
Characteristics: _____		Gage Type: _____		
Specifications: _____				
<b>A-B Crosstabulation</b>				
		<b>B</b>		Total
		0.00	1.00	
<b>A</b>	0.00	44 15.67	6 34.33	50
	1.00	3 31.33	97 68.67	100
Total		47	103	150
<b>A-Ref Crosstabulation</b>				
		<b>Ref</b>		Total
		0.00	1.00	
<b>A</b>	0.00	45 16.00	5 34.00	50
	1.00	3 32.00	97 68.00	100
Total		48	102	150
<b>B-C Crosstabulation</b>				
		<b>C</b>		Total
		0.00	1.00	
<b>B</b>	0.00	42 15.98	5 31.02	47
	1.00	9 35.02	94 67.98	103
Total		51	99	150
<b>B-Ref Crosstabulation</b>				
		<b>Ref</b>		Total
		0.00	1.00	
<b>B</b>	0.00	45 15.04	2 31.96	47
	1.00	3 32.96	100 70.04	103
Total		48	102	150
<b>A-C Crosstabulation</b>				
		<b>C</b>		Total
		0.00	1.00	
<b>A</b>	0.00	43 17.00	7 33.00	50
	1.00	8 34.00	92 66.00	100
Total		51	99	150
<b>C-Ref Crosstabulation</b>				
		<b>Ref</b>		Total
		0.00	1.00	
<b>C</b>	0.00	42 16.32	9 34.68	51
	1.00	6 31.68	93 67.32	99
Total		48	102	150
Kappa	A	B	C	
A	-	0.863	0.776	
B	0.863	-	0.788	
C	0.776	0.788	-	
Kappa	A	B	C	
Kappa	0.879	0.923	0.774	

**Formato 11. Reporte GRyR para Datos de Atributos.**  
*Measurement System Analysis. AIAG, 4<sup>TH</sup> Version, 2010.*

Luego se hace una tabulación cruzada con los resultados obtenidos, y los resultados se resumen en un reporte similar al del Formato 11:

La Tabla 4 muestra la forma en que se distribuyen los valores cada una de las secciones del Formato 11. Del Formato 10, por ejemplo, A-1 y B-1 se compararán, haciéndose lo mismo con A-2 y B-2, y con A-3 y B-3. De esa comparación se contará el número de piezas que, para A y B, coinciden en el resultado. El Formato 11 muestra que A y B estuvieron de acuerdo con que 44 piezas resultaron “nok”; B indicó que 6 piezas fueron “ok” mientras A se opuso; A indicó que 3 piezas fueron “ok” mientras B se opuso; y ambos operadores estuvieron de acuerdo en que 97 piezas fueron “ok”.

<i>Tabulación Cruzada</i>				
		<i>B</i>		<i>Total</i>
		<i>0.00</i>	<i>1.00</i>	
<i>A</i>	<i>0.00</i>	<i>A*</i>	<i>A*</i>	<i>Suma</i>
		<i>B*</i>	<i>B*</i>	
	<i>1.00</i>	<i>A*</i>	<i>A*</i>	<i>Suma</i>
		<i>B*</i>	<i>B*</i>	
<i>Total</i>		<i>Suma</i>	<i>Suma</i>	<i>Total</i>
A* es la cantidad de parejas que coinciden en que las piezas medidas son “nok”, o cualquier otro resultado.				
B* es el porcentaje de concordancia que se esperaba.				

**Tabla 4. Tabulación cruzada para reporte GR&R.**  
**Measurement System Analysis. AIAG, 4<sup>TH</sup> Version, 2010.**

En la Tabla 4 también se muestra el indicador *B*, que para obtenerse requiere primero el porcentaje de piezas que son correctas e incorrectas, de acuerdo a cada operador, y basándose en un total de 150 mediciones. Con ello, utilizando el indicador *A*, se multiplica éste con los porcentajes de conformidad/inconformidad de cada comparación entre operadores. Como ejemplo, el Formato 10 indica que A tuvo un 33.33% de “nok” y un 66.66% de “ok”, mientras que B tuvo 31.33% “nok” y 68.66% “ok”. Si 44 piezas fueron incorrectas, *B* se calcularía como:

$$B = 44 \times (33.33\%)_A \times (31.33)_B;$$

### 3.5 Eliminando desperdicios: *Lean Manufacturing*

La metodología ‘Lean Manufacturing’ (Manufactura Esbelta), es una metodología de gestión de la producción que tiene su origen en el Sistema de Producción de Toyota (TPS). Se centra en la sentencia que asegura lo siguiente: «cualquier elemento o característica que se agregue a un producto, y cuyo propósito no esté canalizado a satisfacer las necesidades del cliente, es injustificada y por tanto se denominará “desperdicio”». De una manera más drástica, la metodología define el término “desperdicio” como: «cualquier cosa por la cual el cliente no está dispuesto a pagar».

La metodología se enfoca a la reducción de tiempos de ciclo y a la maximización de la capacidad de respuesta al cliente utilizando el mínimo inventario posible.

El objetivo es mantener la cadena de valor, pero eliminar los desperdicios de ésta a la misma vez. Definimos “agregar valor” como cualquier cosa que cambie la forma, el tamaño o la función de los materiales o de la información según las necesidades del cliente. Con base en esta definición, un desperdicio será cualquier cosa que no entre dentro de la misma, representando únicamente un costo para la organización.

### 3.5.1 Los 7 + 1 Desperdicios

Se reconocen tradicionalmente 8 desperdicios (denominados "7 + 1" desperdicios, ya que el último fue posteriormente agregado y no está tan involucrado con el resto):

- a) Piezas defectuosas. Naturalmente, la tarea de re-trabajar defectos de manufactura es antieconómica, pero las razones principales son: generación de chatarra, pérdida de tiempo y esfuerzos, es una molestia para los clientes, perjudica al libre flujo de la producción y consume recursos de manera injustificada.
- b) Sobreproducción. Es un desperdicio porque condiciona el capital de trabajo, además de significar una pérdida de espacio por su almacenamiento y evita la detección de problemas en el proceso. Idealmente, el proceso debiera estar calculado de tal manera que no es necesario manufacturar lotes de producción, por lo que no se necesitaría ese inventario extra.
- c) Inventarios. Los inventarios también condicionan el capital de trabajo, además de que ocupan un espacio mayor, en la mayoría de los productos se corre el riesgo de la obsolescencia, riesgo de daño al producto y finalmente, se traduce en un costo superior de transporte, demora y renta de almacenes (o el costo relacionado a su desaprovechamiento).
- d) Movimientos. Una organización sin este desperdicio es aquella en el que el flujo de materiales en una zona es mínimo, por lo cual se requiere de menor capacidad para realizar movimientos de materiales de una máquina a otra. Los movimientos representan un incremento en riesgos ergonómicos, afecta la eficiencia laboral y presenta pérdidas en el tiempo de ciclo.
- e) Transacción de Procesos. Estos procesos administrativos únicamente crean demoras, incrementan la posibilidad de defectos y por definición, no agregan ningún valor.
- f) Demoras. Cualquier demora significa un incremento en el tiempo total, un incremento en el WIP (trabajo en proceso), ralentiza la respuesta de la organización para con sus clientes. Un operador no debe tener que esperar a que una máquina termine de trabajar.
- g) Transportes. Los transportes necesitan equipo, el cual representa un costo muy elevado, además de que es un desperdicio de energía que podría ser aprovechada en otras tareas.
- h) Poco Desarrollo del Talento. Cualquier operador debiera ser capaz de resolver problemas de bajo nivel sin la necesidad de ser auxiliado por el supervisor o por un representante de mantenimiento, lo contrario es un ejemplo de falta de desarrollo del talento. Éste no permite aprovechar la inteligencia de los operadores, además de representar una pérdida de tiempo, de ideas y de oportunidades. Por definición se considera que son los trabajadores quienes conocen mejor el proceso que les corresponde, y por ello deben tomar parte importante en la aportación de ideas e inclusive en la toma de decisiones.

### 3.5.2 El Sistema de Producción de Toyota: La Casa de Toyota.

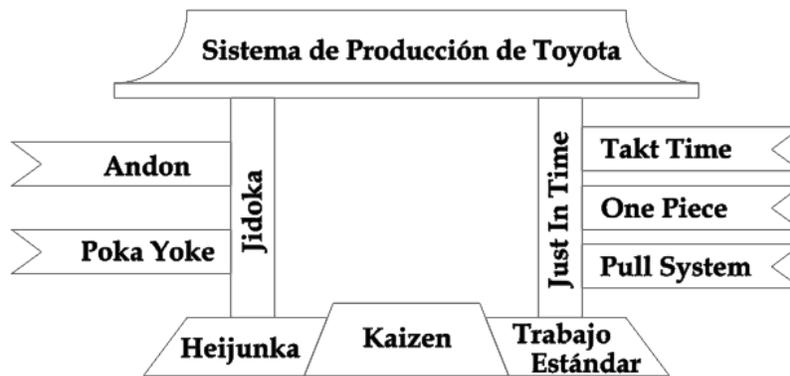


Figura 4. La "Casa de Producción" de Toyota (reproducción).

TPS tiene tres bases principales, y suele dibujarse una casa representativa del proceso, como en la Figura 4 se muestra:

- Heijunka es una propuesta de nivelación de todo el trabajo que tiene que hacer la organización dentro del tiempo establecido, para evitar su acumulación y para fomentar el aprovechamiento de tiempos muertos (haz hoy lo que puedes hacer mañana). El propósito es que la línea trabaje a un ritmo constante y eficiente, de tal forma que permita a los procesos ser desarrollados en el momento en que sea necesario.
- El Trabajo Estándar tiene las ventajas de permitir un ritmo constante de trabajo, además de permitir niveles altos de calidad, ya que se tendrá un control más estricto sobre el proceso. Un control más estricto permitirá por naturaleza la implementación más sencilla de estrategias de mejora continua.
- El kaizen es una filosofía de mejora continua, además de que representa cada una de las mejoras por sí sola: es un cambio benéfico dentro de alguna operación del proceso. Debe de instituirse una política de mejora continua a cada uno de los miembros de la organización, para que se hagan esfuerzos conjuntos y simultáneos en toda la organización.

También se basa en dos pilares básicos:

#### 3.5.2.1 JIT (Justo a Tiempo)

Su definición es simple: relacionar la tasa de producción con la demanda del producto en el mercado. También se basa en utilizar únicamente los materiales necesarios cuando son solicitados, y necesita que el sistema sea altamente flexible y tenga la capacidad de adaptarse a las variaciones de la demanda. Utiliza tres herramientas:

- Tiempo Takt. Es un simple cálculo que indica cuál es el tiempo al que debieran ajustarse todos los procesos para permitir un flujo de materiales continuo (sin generar inventarios en proceso). El cálculo es:

$$t_{takt} = \frac{t_d}{d};$$

Donde  $t_{takt}$  es el tiempo takt,  $t_d$  es el tiempo disponible neto para operaciones y  $d$  es la demanda del producto. Esto indicará en cuánto tiempo debe de salir una pieza. La siguiente gráfica (Figura 5) es un ejemplo de la aplicación del tiempo takt.

En este ejemplo, se puede ver que las estaciones de trabajo A1, A2, B2, C2 y C3 están por debajo del tiempo takt, lo que a pesar de dar la apariencia de que pueden terminar su producción rápidamente, también indica que hay grandes espacios de tiempo muerto que podrían ser aprovechados. En contraste, las estaciones A3 y C1 están sobre el tiempo takt, lo que se traduce en horas extra y actividades innecesarias entre otras cosas. Las estaciones B1 y C4 están en una posición ideal (la cual es muy difícil de alcanzar), y es el tiempo al que deben aproximarse todas las estaciones de trabajo.

Hay diversas maneras para ajustar los tiempos de ciclo de cada estación a un nivel óptimo, entre las cuales se encuentran modificaciones al plan de producción (Heijunka), modificaciones a la organización de las estaciones, eliminación de desperdicios en cada estación, etc.

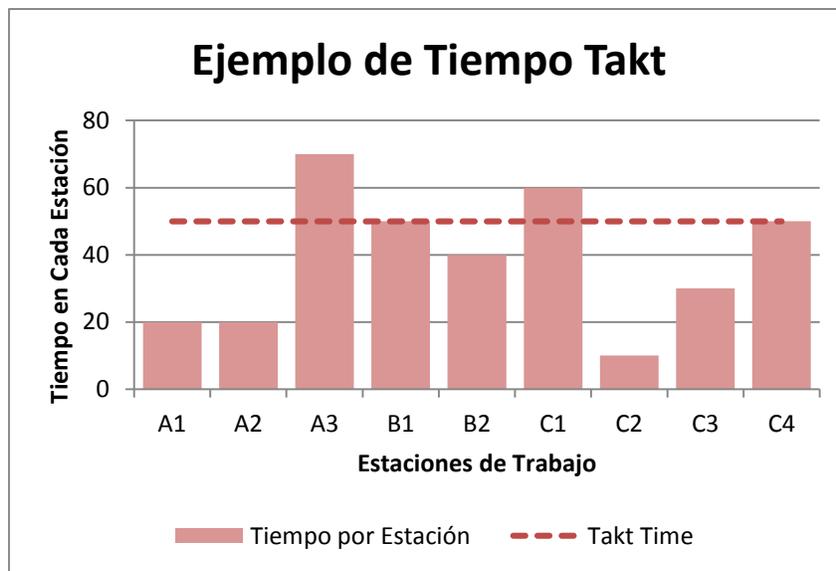


Figura 5. Ejemplo de Cálculo del Tiempo Takt (reproducción).

### 3.5.2.2 Flujo de trabajo de una pieza.

Es el movimiento de productos, servicios e información como en un flujo de corriente. El propósito es que el flujo no se detenga y que constantemente se le agregue valor a los productos: éste se crea al eliminar colas de espera o demoras de operación. Para hablar del flujo de trabajo de una pieza, es importante tomar en cuenta las desventajas que acarrea el sistema de lotes de producción:

- i. Los defectos son más difíciles de detectar, y se corre el riesgo de encontrarlos muy tarde;
- ii. Es muy probable la generación de sobreproducción;
- iii. No hay un control preciso del proceso;

La siguiente (Figura 6) es una gráfica muy utilizada para demostrar el flujo de trabajo por lotes de producción:

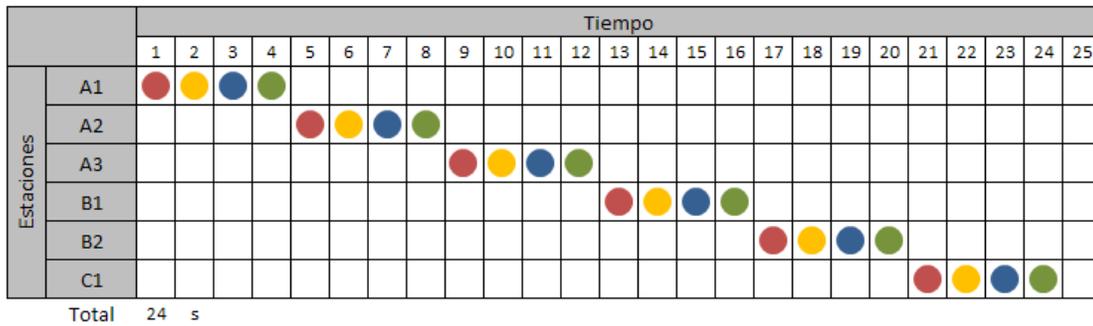


Figura 6. Flujo de Trabajo por Lotes (reproducción).

Conociendo estos problemas, se ve la solución en el flujo de una pieza, simulada en la Figura 7:

- iv. Los problemas se detectan de manera inmediata y en el lugar en donde ocurren;
- v. La detección y la naturaleza del flujo permiten que solamente se genere un error a la vez;
- vi. Es relativamente fácil determinar qué fue lo que ocurrió cuando hay un defecto;
- vii. Los problemas pueden resolverse al momento.

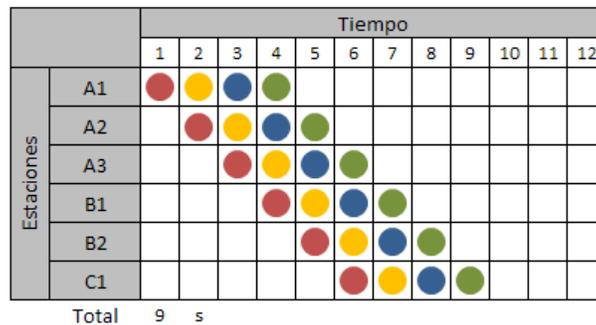


Figura 7. Flujo de Trabajo de una Pieza (reproducción).

### 3.5.2.3 Flujo de tracción (Pull System)

En muchos procesos el flujo constante no es tan sencillo porque existen largas distancias entre los procesos, éstos no son confiables o requieren de tiempos de instalación muy largos. Por ello es necesaria la aplicación de un sistema de flujo de tracción. Éste consiste en que el proceso final o cliente “jala” lo necesario de los procesos antecesores a él, obligando a éstos procesos a hacer lo mismo con sus respectivos antecesores.

Éste sistema asegura que cada proceso solamente ocupará la información o materiales que necesita y cuando los necesita, además de asegurar que ninguna acción comenzará antes de que el proceso de corriente la inicie.

Una de las herramientas básicas que reflejan la naturaleza del sistema de tracción son las tarjetas Kanban. Éstas son tarjetas que indican la solicitud de un material cuando éste es requerido y en la cantidad en que es necesitada. Hay dos tipos principales de kanban:

- viii. Kanban de producción, el cual indica a un proceso en específico el manufacturar un número determinado de unidades para uso posterior (lo emite el cliente).

- ix. Kanban de entrega, el cual le indica al sistema de transporte que entregue una cantidad determinada de piezas al proceso u operación que las ha solicitado, en un sistema de supermercado.

Con el sistema de supermercado hacemos referencia a que en algunos casos se trabajará el surtido de materiales como si se estuviese comprando en un supermercado (seleccionando los productos que se necesitan de una serie de estanterías).

#### 3.5.2.4 Jidoka.

Es un enfoque de automatización que busca la detección inmediata de errores dentro de la línea de producción. Se ayuda de máquinas que tienen la capacidad de detener un proceso al detectar una anomalía y evitar que éstos avancen al proceso siguiente.

- b. Específicamente, el término “andon” hace referencia a un sistema de alarma que permite detener y notificar sobre alguna falla dentro del proceso. Es un tablero electrónico que muestra el estatus de todas las líneas del proceso, y notifica inmediatamente de algún paro en cualquiera de ellas. La Figura 8 es un ejemplo de un tablero, aunque los hay mucho más complejos.

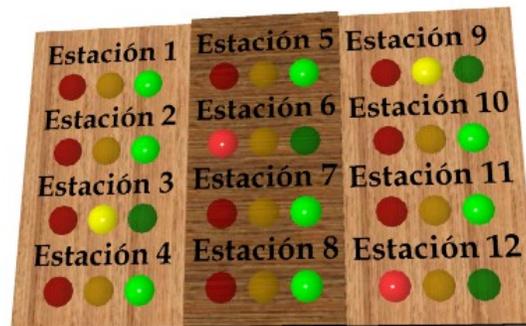


Figura 8. Sistema de Alarma Andon (elaboración propia).

- c. Poka Yoke. Es indispensable evitar errores producidos por el hombre dentro del proceso, ya que los errores humanos usualmente se provocan por distracciones de los operadores. Una manera muy eficaz para dicha reducción de errores son los Poka Yoke, los cuales son sistemas sencillos que bloquean la acción humana cuando se está cometiendo un error.

### 3.5.3 Herramientas de Lean Manufacturing

La metodología de Lean Manufacturing trabaja tradicionalmente con una serie de herramientas focalizadas a evaluar la situación actual del proceso y proponer mejoras fáciles de expresar. Las más importantes se citan a continuación:

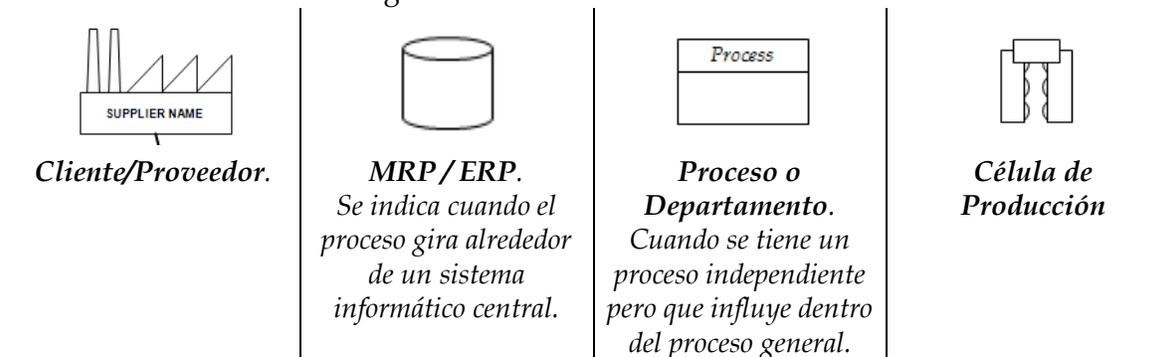
a) La herramienta más representativa de Lean Manufacturing se llama Mapa de Flujo de Valor (Value Stream Map). Es un diagrama que divide las actividades llevadas a cabo dentro del proceso, haciendo énfasis a operaciones que agregan valor al producto (a las cuales se les asigna un cuadro denominado “bloque de operación”), además de indicar elementos como el número de operadores, el inventario en proceso (WIP), tiempos de ciclo, etc.

Figura 9. Ejemplo de Modelo de Bloque de Operación para el Mapa de Flujo de Valor (reproducción).

a. Los Bloques de Operación (Figura 9) son cuadros que contienen información específica, y que se asignan a operaciones en específico, como un resumen.

- i. C / T (Tiempo de Ciclo), es el tiempo total requerido para que una pieza pase por un proceso específico.
- ii. C / O (Tiempo de Cambio), es el tiempo requerido para cambiar la instalación de la máquina para que pueda manufacturar un tipo diferente de productos al que estaba manufacturando.
- iii. Número de operadores encargado de la operación.
- iv. Tiempo Takt de la operación.
- v. Disponibilidad, es el porcentaje de tiempo en el cual una máquina o proceso está disponible.
- vi. Porcentaje de desecho o defectos de la máquina.
- vii. EPE, que es la tasa de producción expresada en términos de tiempo. Cada pieza se elabora cada n tiempo.

b. Los símbolos básicos para la construcción de un Value Stream Map son los que se muestran en la Figura 10.



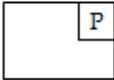
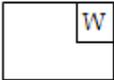
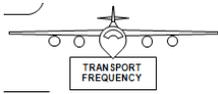
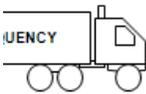
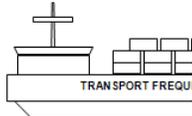
 <p><b>Supermercado.</b> Es el sistema en el que cuando una operación necesita que surtan materia prima, la toma de un almacén de materiales.</p>	 <p><b>Sistema PEPS.</b> Cuando se tiene un sistema Primeras Entradas - Primeras Salidas.</p>	 <p><b>Inventario de Seguridad</b></p>	 <p><b>Operador</b></p>
 <p><b>Kaizen.</b> Indica la implementación de una mejora en cierta zona del mapa.</p>	 <p><b>Nivelación.</b> Es la representación de la forma de trabajo Heijunka.</p>	 <p><b>Inventario en Proceso.</b> Es el inventario que se encuentra entre cada operación.</p>	 <p><b>Estación de Kanban.</b></p>
 <p><b>Kanban de Producción.</b></p>	 <p><b>Kanban de Entrega.</b></p>	 <p><b>Teléfono.</b></p>	 <p><b>Correo.</b></p>
 <p><b>Entrega por Aire.</b></p>	 <p><b>Entrega por Tierra.</b></p>	 <p><b>Entrega por Tren.</b></p>	 <p><b>Entrega por Mar.</b></p>

Figura 10. Símbolos usuales para un Mapa de Flujo de Valor (elaboración propia).

- c. La línea de tiempo (Figura 11) en una sección colocada en la parte inferior del Value Stream Map para mostrar y resumir los tiempos que se utilizan en la manufactura directa de las piezas, y los tiempos de desperdicio (por llamarlos de alguna manera).



Figura 11. Ejemplo de Línea de Tiempo para un Mapa de Flujo de Valor (reproducción).

A pesar que la mayoría de estos símbolos son ampliamente utilizados, no son restrictivos y pueden utilizarse los símbolos que más se adecúen al proceso.

- b) Los Diagramas de Espagueti un diagrama elaborado sobre un layout de la planta (proceso). Muestra el recorrido específico que cada pieza hará durante su transformación,

y debe de ser específico en cuanto a detalles de transporte. Se le denomina así por la falta de organización resultante esperada después de la evaluación inicial del proceso.

La principal función del Diagrama de Espaguete es el evaluar las distancias reales recorridas por los procesos para poder decidir los movimientos necesarios que reducirán dichas distancias y liberarán el flujo de la producción.

- c) Las Células de Producción son sistemas de producción en el cual se lleva a cabo el proceso completo de manufactura de una pieza en operaciones (máquinas, si se presta) lo suficientemente cercanas para que los movimientos sean los mínimos posibles.

Un elemento importante a considerar en el diseño de una célula de producción es que el proceso puede ser multifuncional (es decir, no está restringido a la manufactura de una pieza en específico), logrando con ello agrupar familias enteras de piezas de la mismas características para manufacturarlas en una única celda.

Otra ventaja es que si debe de hacerse una modificación relativamente grave a las características de manufactura, solamente la célula involucrada en la manufactura de una pieza específica se verá afectada por dichos cambios, en lugar de obligar a la línea de producción entera a adaptarse.

- d) Single Minute Exchange of Dies (SMED) es un concepto que hace referencia a los tiempos de "setup" de una máquina, es decir, los tiempos requeridos para preparar una máquina para que pueda manufacturar un tipo pieza en específico. En teoría, el tiempo requerido para que se cambie un dado debería de ser de menos de diez minutos: las implementaciones necesarias para lograr un cambio tan drástico dependerán del tipo de proceso que una máquina está llevando a cabo.

Esta política es muy importante para lograr el sistema de Flujo de una Pieza.

- e) La Caja Heijunka (Figura 12) es un sistema mejor representado por una matriz. Las filas de la matriz representan un cierto tipo de proceso (o para integrarlo al sistema, una célula de producción); y las columnas de la matriz representa el tiempo en que deben de ser manufacturadas dichas piezas. El propósito es que cada proceso tenga una cantidad nivelada de manufactura de piezas a lo largo de la semana (un número de piezas determinadas al día, por ejemplo), en lugar de acumular toda la producción en un solo día.

La principal ventaja de esto obedece al movimiento constante de la producción, sin tener que llegar a forzar a las máquinas y a los operadores, y a su vez evitar riesgos de calidad relacionados a una producción apresurada.



Figura 12. Caja Heijunka (reproducción).

- f) Se le denomina Water Spider a cualquier operador que sea encargado de colaborar con más de un área específica: mientras que los operadores principales se encargan de la manufactura o inspección directa de las piezas, la tarea del Water Spider es el asistir con tareas como el transporte de materiales, la revisión del surtido correcto de materia prima, entre otras tareas que por cuestiones de tiempo no puedan llevar a cabo los encargados.

El objetivo del Water Spider es el reducir los tiempos de desperdicio al evitar que los operadores tengan que hacerse cargo de los mismos.

- g) Una Hoja de Trabajo Estándar es un documento que muestra las operaciones que se llevarán a cabo en un proceso en específico, elaborada sobre un Layout. En este Layout se muestran las operaciones que se llevarán a cabo, el número de operadores que se encargarán de cada operación, los inventarios en proceso, y la ruta que seguirán las piezas durante su manufactura.

Además puede contener otra información relevante, como indicaciones de seguridad, revisiones de calidad, e información básica relacionada con la pieza a manufacturar y con los responsables del proceso.

- h) Comparaciones Kaizen. Hemos definido que la filosofía kaizen se basa en la mejora continua. Lo que suele hacerse es representar dentro de un cuadro comparativo los frutos de la implementación de una mejora específica (¿cómo se veía antes de la implementación y cómo se ve después de la implementación?).

### 3.5.3.1 5 Ss

Las cinco eses es una herramienta que no está restringida a la metodología de Lean Manufacturing, sino que puede llegar a ser inclusive más universal que ésta. Esta política se resume en que la organización y la limpieza son clave para el buen desempeño de cualquier actividad (pudiéndose expandir incluso a un entorno más personal).

Es un sistema de origen Japonés, y en realidad originalmente eran 9's:

1. Seiri. Es saber ordenar por categorías (tamaño, clase, frecuencia de uso, etc.), para así ajustar el espacio disponible. Para ello es necesario: a) segregar lo necesario de lo innecesario; b) reducir los utensilios de poca rotación y uso, conservando de éstos lo mínimo posible.
2. Seiton. Es organizar las herramientas y lugar de trabajo en forma eficaz.
3. Seiso. Es el hábito de limpiar y ordenar el área de trabajo, la maquinaria y las herramientas que se utilizan.
4. Seiketsu. Es necesario que los operadores y aquellos involucrados en el proceso sean personas ordenadas desde un inicio, para lograr una armonía entre lo que hace y lo que realmente piensa esa persona. En otro contexto, implica la estandarización del proceso.
5. Shitsuke. Literalmente "entrenamiento", implica el apego a los procedimientos establecidos, es decir, hacer de la limpieza y el orden una forma de vida, en lugar de aplicarlo solamente al área de trabajo.

Para que las 5's sean efectivas, es necesario que el todo el personal involucrado se comprometa con el mismo objetivo. Las cinco eses son un proceso que se mantiene de

manera constante, es decir, al hacerlo de manera intermitente lo único que se logra es desperdiciar recursos valiosos en tareas que no agregan valor alguno.

## **Capítulo 4. Elementos de un PPAP: El Producto**

Como se mencionó antes, el PPAP en sí puede dividirse en cuatro secciones: ya se han evaluado aquellas relacionadas con el proceso de manufactura del producto, ahora se enfocarán directamente en las características del mismo.

Particularmente en esta sección, podemos hacer un nivel más para la clasificación:

- a. Aquellos documentos que muestran datos puntuales referentes al producto, como pruebas dimensionales y de materiales.
- b. Y aquellos documentos que muestran comportamientos estadísticos.

### **4.1 Récord de Diseño**

Ésta es una copia de los dibujos de ingeniería, y que muestran las características de la pieza a manufacturar. Ambas organizaciones deben de poseer y trabajar sobre el mismo récord, sin importar si éste fue diseñado por el comprador o por el proveedor. Cuando el cliente sea el responsable del diseño de la pieza, una copia de éste deberá estar adjunta a la orden de compra, y cuando el proveedor sea el responsable, los planos deberán ser aprobados y liberados por el sistema de aprobación del mismo proveedor.

Para efectos de utilización del plano, cada una de las características (sean dimensionales o notas aparte) deberá estar referenciada (mediante un número o letra), con el objeto de corresponder el plano con los resultados a pruebas sobre la pieza.

### **4.2 Resultados de Pruebas Dimensionales**

La Formato 12 es un documento que prueba que los requerimientos del cliente, en cuanto a la geometría de la pieza, han sido totalmente comprendidos. Ésta debe de coincidir con el plano de ingeniería, y consiste en lo siguiente:

- a) Información sobre la organización y el lugar en el que se inspeccionó la pieza.
- b) Información sobre la pieza, como el número de parte, la descripción de la parte, el nivel de cambio de ingeniería, etc.
- c) Cada una de las dimensiones y características, incluyendo su tolerancia permitida (límites de especificación).
- d) Un mínimo de seis pruebas de la misma dimensión en seis muestras diferentes (lo que conformará la muestra maestra), especificando el número de piezas que se ha probado y la fecha en que se hicieron las respectivas mediciones.
- e) Una evaluación sencilla que indica “pasa” / “no pasa” (ok/nok), como ayuda visual para el evaluador.

Para una revisión más sencilla es necesario que el proveedor indique la relación de cada una de las dimensiones que muestra en el reporte con las dimensiones que aparecen en el dibujo de la pieza original. Todas las dimensiones deben estar presentes en el reporte, sean de cualquier índole.

Production Part Approval Dimensional Test Results							
DAIMLERCHRYSLER  							
ORGANIZATION: SUPPLIER/VENDOR CODE: NAME OF INSPECTION FACILITY:				PART NUMBER: PART NAME: DESIGN RECORD CHANGE LEVEL: ENGINEERING CHANGE DOCUMENTS:			
ITEM	DIMENSION / SPECIFICATION	SPECIFICATION / LIMITS	TEST DATE	QTY. TESTED	ORGANIZATION MEASUREMENT RESULTS (DATA)	OK	NOT OK
						X	
						X	
						X	
						X	
						✓	

**Formato 12. Resultados de Pruebas Dimensionales.**  
**Production Part Approval Process. AIAG, 4<sup>TH</sup> Version, 2006.**

#### 4.2.1 GD&T: Dimensionamiento Geométrico y Tolerancia.

En un dibujo de ingeniería se puede observar que las líneas y el diseño en general es muy armonioso; sin embargo, semejante armonía de las formas es muy difícil (sino virtualmente imposible) para realizarse en una pieza real, en especial un material rugoso (muchos de los metales trabajados no son sometidos a procesos de pulido, ya que aumentaría el costo considerable e innecesariamente.

El GD&T es un sistema de simbologías para la fácil comprensión, diseño y evaluación del dibujo de ingeniería de una pieza. Éste se basa en posiciones específicas consideradas como “datum”, los cuales son valores que se toman como ciertos / ideales, y a partir de los cuales se realiza el resto de las mediciones.

##### 4.2.1.1 Símbolos Principales.

Las características más importantes del GD&T que se encontrarán en un plano de ingeniería se resumen en los símbolos mostrados en la Tabla 5.

Tipo de Tolerancia	Nombre	Símbolo	Definición
Elementos de Forma	Rectitud		Indica la similitud de la geometría de una cara o de una línea perteneciente al objeto comparándola con una línea recta ideal.
	Planicidad		Es similar a la rectitud, pero a nivel área. Es qué tan cercana es la planicidad de una cara como para compararla con un plano ideal.
	Circularidad / Redondez		Es una medida que indica qué tan cercana es la geometría de una característica a un círculo ideal.
	Cilindricidad		Es qué tan acercada es la forma del área principal de un cilindro, contra un cilindro ideal.
	Perfil de Línea		Es qué tanto se diferencia la forma del costado de una pieza manufacturada contra el que se especifica en el plano.
	Perfil de Superficie		Es la misma medida que la anterior, pero aplicada a una superficie.

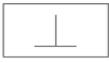
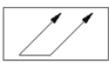
Tipo de Tolerancia	Nombre	Símbolo	Definición
Elementos de Orientación	Perpendicularidad		Qué tan perpendicular es una característica contra una línea de referencia.
	Inclinación		Qué tan sesgada es la característica respecto a la especificación de inclinación.
	Paralelismo		Qué tan paralela es una recta contra una especificación dada.
Elementos de Posición	Simetría de un Plano		Usualmente se utiliza para indicar que una característica debe de ser simétrica contra otra.
	Posición		Indica que una característica no debe salirse de su posición más que dentro de la tolerancia. Se utiliza principalmente en agujeros.
	Coaxialidad de un Eje		Indica que dos características deben de compartir un eje en común. También se utiliza en agujeros.
Elementos de Oscilación	Oscilación Circular		Cuando se inspecciona una característica de revolución*, es cada una de las desviaciones de la cara a evaluar, respecto al valor nominal.
	Oscilación Total		Es la diferencia entre el punto más alto y el punto más bajo de una lectura de Oscilación Circular.
*Una característica que es simétrica alrededor de un eje, y cuya cara superior sería una o más circunferencias.			

Tabla 5. Elementos de GD&T (reproducción).

Usualmente se hace la diferencia entre los dos puntos más alejados del ideal (el máximo y el mínimo), y esa diferencia es la que se espera esté dentro de especificación.

c. Máxima Condición de Material (MMC)

Es una condición que se refiere a una característica de tamaño, la cual contiene la máxima cantidad de material posible sin salirse de especificación. Por ejemplo, un agujero más pequeño implica que hay una mayor cantidad de material en la pieza, y un diámetro mayor en un pin implica también que hay mayor material en la pieza.

i. Tolerancia de Bonificación

Cuando se requiere una MMC, significa que mientras mayor material incluya la característica más ajustada deberá ser la tolerancia. Sin embargo, si se disminuye la característica al mínimo material posible, automáticamente la tolerancia se vuelve más grande.



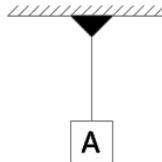
d. Mínima Condición de Material (LMC)

Es la condición contraria al MMC, ya que implica que se tiene la mínima cantidad de material posible, sin que esto afecte necesariamente a las especificaciones. Un ejemplo podría ser un agujero en tolerancia más grande, o un pin en su tolerancia más pequeña.

Ⓛ

e. Referencias "Datum"

Es una característica que se considera "ideal". Puede ser un plano, una recta, un punto, una circunferencia, etc. Es una característica que se considera "básica", y a partir de la cual se medirá el resto de las características.



f. Rectángulos de Tolerancia

Es una indicación de tolerancia geométrica que usualmente contiene los siguientes elementos:

- a) Tipo de Tolerancia (perfil, posición, etc...);
- b) Valor de la tolerancia;
- c) Si existe una MMC o LMC;
- d) Las características "datum" respecto a las que se medirá la característica.



### 4.3 Resultados de Pruebas de Materiales

Mostrado en el Formato 13, es un resumen que contiene los resultados de las pruebas, principalmente químicas, para determinar la composición de los materiales que se están utilizando para manufacturar la pieza. Debe contener los siguientes elementos:

- a) Información sobre la organización y el lugar en el que se inspeccionó la pieza, en especial el laboratorio en el que se llevaron a cabo.
- b) Información sobre la pieza, como el número de parte, la descripción de la parte, el nivel de cambio de ingeniería, etc...
- c) Los componentes (usualmente composición química) especificados en la norma requerida por el plano de ingeniería, además de las propiedades físicas (si la norma las requiere), y otras características que se incluyan en el plano.
- d) Los resultados del experimento, además de la fecha en que se realizó y la cantidad de piezas que se evaluaron.
- e) Una evaluación sencilla que indica "pasa" / "no pasa" (ok/nok), como ayuda visual para el evaluador.

Usualmente se adjunta a este documento un certificado o un documento emitido por la organización que manufactura el acero utilizado para la manufactura, que especifique la composición química del material. En el particular caso de los aceros, las normas principalmente utilizadas son las emitidas por la SAE, la ASTM en los Estados Unidos; además de las normas DIN e ISO para Europa; y la norma JIS para Asia y el Pacífico.

Estos estándares tienen requerimientos muy similares, aunque su diferencia radica (además de en la región en que se utilizan), en lo estricta que la norma es en la evaluación. Por ejemplo, lo más común que se solicita en las normas JIS es simplemente la composición química; mientras que la norma SAE y ASTM pueden incluir también elementos mecánicos como el esfuerzo tensil y el esfuerzo de cedencia. Por otro lado, la norma DIN (Alemana) puede llegar a solicitar inclusive la dureza y los coeficientes de anisotropía.

Los elementos más comúnmente evaluados entre los aceros son el Carbono, el Magnesio, el Azufre y el Fósforo; los últimos dos buscando que contengan la mínima cantidad posible, y derivados del mismo proceso de manufactura al que fueron sometidos. Pasar por alto un material con alto contenido de Azufre o Fósforo puede comprometer inclusive la integridad del elemento de manufactura.

Production Part Approval Material Test Results						
DAIMLERCHRYSLER  						
ORGANIZATION: SUPPLIER/VENDOR CODE:				PART NUMBER: PART NAME:		
MATERIAL SUPPLIER: *CUSTOMER SPECIFIED SUPPLIER/VENDOR CODE:				DESIGN RECORD CHANGE LEVEL: ENGINEERING CHANGE DOCUMENTS:		
*If source approval is req'd, include the Supplier (Source) & Customer assigned code.				NAME of LABORATORY:		
MATERIAL SPEC. NO. / REV / DATE	SPECIFICATION / LIMITS	TEST DATE	QTY. TESTED	SUPPLIER TEST RESULTS (DATA)	OK	NOT OK

Formato 13. Resultados de Pruebas de Materiales.  
Production Part Approval Process. AIAG, 4<sup>TH</sup> Version, 2006.

#### 4.3.1 IMDS (International Materials Data System)

Cuando se hace el análisis de costos, composición e inclusive los elementos contaminantes de un vehículo, se utiliza la herramienta IMDS. Es básicamente un ERP (*Enterprise Resource Planning*, o Planificación de Recursos de la Empresa):

1. El proveedor de materias primas crea un elemento dentro del sistema, el cual reflejará la composición química general del material que está proporcionando a su cliente directo. De allí obtendrá un código.
2. El siguiente nivel en la cadena (el que manufacturará las piezas), utiliza ese código para crear una pieza –la cual se denomina “semicomponente”–, la cual tiene la característica de indicar el peso final unitario de la pieza que manufactura; y generando un código de parte.
3. El siguiente paso seleccionará a todos los elementos necesarios para realizar el ensamble del producto que pretende vender (un mecanismo, una sección del motor, etc..) y los unirá en un archivo que también se denominará “semicomponente”, generando un nuevo código.
4. Posteriormente, la siguiente organización utilizará varios sub-ensambles para generar un “componente” (los asientos, el motor, el sistema de refrigeración, el sistema eléctrico, etc...), y generar de allí un nuevo código.

5. El propósito es unificar a todos los ensambles para que la organización que produce los vehículos pueda determinar entre otras cosas: la masa final del vehículo, la composición química de los elementos del vehículo, los proveedores y sus contactos, y poder identificar materiales y sustancias no permitidas incluidas en la manufactura. Uno de los ejemplos clásicos de sustancias prohibidas en la manufactura de un vehículo, por constituir un riesgo a la salud humana, al ambiente y al reciclaje es el Cromo Hexavalente.

#### 4.3.2 Estándares y Especificaciones de Materiales

A pesar de que fundamentalmente una especificación de acero suele contener las mismas características, las normas de materiales suelen ser más o menos estrictas dependiendo de la aplicación futura que se le dará al material. Las más comunes son cuatro: SAE y ASTM de los Estados Unidos, DIN de Alemania y JIS de Japón.

- a) Normas SAE (Society of Automotive Engineers). La estructura de la norma es detallada, y suele incluir una introducción, referencias, detalles, apéndices (si aplica) y notas al final (si aplica). También hay que tomar en cuenta la fecha de emisión o revisión del documento.

En el caso del estándar SAE J403 –para aceros destinados principalmente a forja, rolado, y otras formas de maleado– tiene como evaluadores principales el porcentaje de carbono, el de manganeso, y los residuales de fósforo y azufre, los cuales suele limitarlos a un máximo de 0.030 y 0.050%. Podríamos considerarlo como un nivel básico de requerimientos.

En el caso del estándar SAE J404 –para aceros aleados– la norma incluye más elementos (naturalmente), destacando la evaluación de la presencia de silicio, níquel, cromo, molibdeno y vanadio; además de otros elementos residuales que pudieren llegar a presentarse en el producto.

Finalmente, dependiendo de la aplicación del material, se pueden llegar a solicitar pruebas físicas, como es el caso de SAE J2340 –láminas de acero de alta resistencia–, en la cual se dividen los materiales en grados (dependiendo de su uso), y llega a especificar esfuerzo tensil, esfuerzo de cedencia y elongación.

- b) Normas ASTM (American Society for Testing and Materials). En este caso, la estructura suele incluir, además de la introducción y las referencias, un espacio para la terminología, lo que debe de solicitar el comprador al requerir el material, el detalle (físicas, químicas, superficiales, etc.), además de inspección, certificación, empaque, apéndices y notas.

Los requerimientos suelen ser parecidos a aquellos presentes en las normas SAE, e incluso hay documentos con referencias cruzadas entre los cuatro estándares mostrados aquí. Así, podemos ver que el material 1.0501 es equivalente a DIN 17200 C35, a SAE J403 1035, y a JIS G4051 S 35 C.

- c) Normas DIN (Deutsches Institut für Normung). Las especificaciones DIN suelen ser las más estrictas (al menos de estas cuatro), y se estructuran con frecuencia indicando ediciones previas, enmiendas, referencias, introducción, definiciones, designaciones,

requerimientos (detalle), inspección, marcaje, empaque, información para compras y apéndices-anexos.

Cuando se señala que suele ser la más estricta, se hace referencia en que además de solicitar la información básica sobre composición química y pruebas mecánicas base, incluye con regularidad requerimientos relacionados a la superficie del material, al tiempo de validez de las propiedades y a la anisotropía, por ejemplo. Para un proveedor relativamente nuevo, cubrir el 100% de las especificaciones en el primer intento suele ser un problema.

- d) Normas JIS (Japanese Industrial Standard - 日本工業規格). En el caso del estándar Japonés, lo más importante que suele requerirse es la especificación sobre composición química, aunque ello no significa que no se solicitarán pruebas más completas.

Otros estándares de menor utilización suelen aplicarse, como las normas ISO o estándares nacionales (de cualquier país), ya que éstos últimos suelen basarse los estándares mencionados, aun cuando lleguen a tener modificaciones con fines de adaptación a factores como las condiciones atmosféricas.

#### 4.4 Resultados de Pruebas de Desempeño

Es un documento como el del Formato 14, el cual resume los resultados de pruebas sobre desempeño realizadas a los materiales utilizados. En estas pruebas es común ver la inclusión de propiedades mecánicas de los materiales (aceros, por ejemplo), pero es también común ver pruebas que analicen las capacidades de respuesta de materiales que no sean una parte estructural del vehículo (e.g. la pintura y las telas). Debe de contener lo siguiente:

- a) Información sobre la organización y el lugar en el que se inspeccionó la pieza, en especial el laboratorio en el que se llevaron a cabo.
- b) Información sobre la pieza, como el número de parte, la descripción de la parte, el nivel de cambio de ingeniería, etc.
- c) Las pruebas que se llevaron a cabo sobre las muestras, incluyendo las especificaciones nominales y las tolerancias permitidas.
- d) Los resultados del experimento, además de la fecha en que se realizó y la cantidad de piezas que se evaluaron.
- e) Una evaluación sencilla que indica “pasa” / “no pasa” (ok/nok), como ayuda visual para el evaluador.

Production Part Approval Performance Test Results						
DAIMLERCHRYSLER  						
ORGANIZATION: SUPPLIER/VENDOR CODE:			PART NUMBER: PART NAME:			
MATERIAL SUPPLIER: *CUSTOMER SPECIFIED SUPPLIER/VENDOR CODE: <small>*If source approval is req'd, include the Supplier (Source) &amp; Customer assigned code.</small>			DESIGN RECORD CHANGE LEVEL: ENGINEERING CHANGE DOCUMENTS:			
TEST SPECIFICATION / REV / DATE	SPECIFICATION / LIMITS	TEST DATE	QTY. TESTED	SUPPLIER TEST RESULTS (DATA) / TEST CONDITIONS	OK	NOT OK

**Formato 14. Resultados de Pruebas de Desempeño.**  
**Production Part Approval Process. AIAG, 4<sup>TH</sup> Version, 2006.**

La importancia de las pruebas de desempeño se vislumbra cuando tienen que evaluarse estos “componentes”:

- a) Pinturas y recubrimientos: los estándares manejan una serie de normas a cumplir para asegurar la correcta aplicación y la buena calidad de los recubrimientos que protegerán al vehículo. Entre las pruebas más comunes para recubrimientos están:
  - a. Prueba de espesor y cantidad de la pintura. En esta prueba se determina el espesor y la masa del recubrimiento.
  - b. Prueba de doblado, en la cual se utiliza una pieza de metal similar a la pieza a recubrir. Se coloca la pieza sobre un pin (con la pintura hacia afuera), y se dobla hasta que sus patas estén paralelas. El objetivo es detectar cualquier inconformidad o daño al recubrimiento en el área afectada por el doblado.
  - c. Prueba de bruñido, en la cual se frota una herramienta con el extremo suave sobre el recubrimiento por aproximadamente 15 segundos, sin forzarlo al nivel en que se retire el recubrimiento. El objetivo es detectar cualquier daño.
  - d. Prueba del Cincel-Cuchillo, en la cual se utiliza un cincel enfriado para penetrar el recubrimiento, y luego se sustituye el cincel por un cuchillo con o sin martilleo. Si es posible remover el recubrimiento, éste no es satisfactorio.
  - e. Prueba de Estiramiento, en la que se coloca una placa con recubrimiento en un proceso parecido a un embutido, pero con el propósito de quebrar la placa. Si el recubrimiento tiene señales de pelado, significa que no es satisfactorio.

La mayoría de estas pruebas son sencillas de realizar, además de que algunas no requieren de equipos especiales. Naturalmente hace falta una serie más vasta de pruebas, las cuales pueden buscarse en los diferentes estándares de materiales.

- b) Telas: Uno de los estándares más críticos para comprobar la seguridad de los materiales es la prueba de inflamabilidad (Estándar 571.302 del Departamento de Transporte de los Estados Unidos), la cual consiste en lo siguiente:
  - a. El objetivo es el reducir la tasa de accidentes automovilísticos relacionados al fuego, y se enfoca principalmente a elementos cercanos al conductor y a los pasajeros. La prueba se realizará en un compartimiento aislado (para proteger la integridad de la prueba), el cual deberá de tener ciertas especificaciones dimensionales, además de incluir una ventana de observación, tubería para quema

de gas, agujeros de ventilación y (obviamente) una entrada bloqueable. Luego se incendiará un material con especificaciones dimensionales definidas y si logra no superar una determinada tasa de quemado (milímetros por minuto) o si se apaga al minuto del inicio de la prueba, ésta será satisfactoria.

#### 4.4.1 Sistemas de Asesorías de Procesos

Los sistemas CQI para procesos son evaluaciones (principalmente internas) para evaluar el control que se tiene sobre algunos procesos de modificación de materiales de una industria. Es una evaluación a los sistemas de gestión correspondientes a procesos especiales:

- a) CQI-9. Sistema de Evaluación de Tratamientos Térmicos. Este documento está constituido por los siguientes elementos:
  - a. Datos de la organización, selección del proceso de tratamiento que se está llevando a cabo y responsables (personal y auditores) de la evaluación.
  - b. Evaluaciones Generales 1, 2 y 3. Ésta sección se divide en cuatro partes:
    - i. Administración de responsabilidades y planeación de la calidad. Esta sección evalúa puntos correspondientes a la gestión del sistema de calidad, con preguntas como:
      1. ¿Se incluye un AMEF que refleje el proceso actual?,
      2. ¿Los planes de control están actualizados?,
      3. ¿Se ha ejecutado un estudio de capacidad y cuáles fueron los cambios logrados tras ese estudio?, y,
      4. ¿Se tiene un programa de mantenimiento preventivo?<sup>2</sup>
    - ii. Responsabilidad de manejo de materiales en planta. Aquí se evalúa la correcta administración de materiales durante el tratamiento. Incluye preguntas como:
      1. ¿Se le da seguimiento al producto durante el tratamiento?,
      2. ¿Se mantiene la trazabilidad del lote durante el proceso?,
      3. ¿Los contenedores son libres de material inapropiado?, entre otras.
    - iii. Equipo. Aquí se evalúa la correcta administración del mantenimiento a los equipos. Se cuestiona, por ejemplo:
      1. ¿Las alarmas se evalúan constantemente o cuando se debe de realizar una reparación?
      2. ¿Los equipos cuentan con controles correctos y actualizados?
    - iv. Un apartado correspondiente al Tratamiento Térmico por Inducción.
  - c. Auditoría Laboral (Sección 4). Aquí se evalúan requerimientos relacionados a responsabilidades, certificaciones y empaques.
  - d. El resto del documento son apéndices sobre tablas de proceso, para facilitar la evaluación.

---

<sup>2</sup> CQI-9 AIAG

Special Process: Plating System Assessment			
Facility Name:			
Address:			
Phone Number:		<b>Type(s) of Plating Processing at this Facility:</b>	
Fax Number:		<b>Process Table A</b>	
		Zinc	
Number of Plating Employees at this Facility:		Zinc Alloy Plating	
Captive Plater (Y/N):		<b>Process Table B</b>	
Commercial Plater (Y/N):		Surface Conditioning of Metals for Decorative Plating	
Date of Assessment:		<b>Process Table C</b>	
		Surface Conditioning of ABS & PCABS Plastics for Decorative Plating	
Date of Previous Assessment:			
		<b>Process Table D</b>	
		Decorative Plating	
		<b>Process Table E</b>	
		Mechanical Plating	
		<b>Process Table F</b>	
		Equipment	
		Process Equipment	
Current Quality Certification(s):			
Date of Re-assessment (if necessary):			
Personnel Contacted:			
Name:	Title:	Phone:	Email:
Auditors/Assessors:			
Name:	Company:	Phone:	Email:
<b>Number of "Not Satisfactory" Findings:</b>			
<b>Number of "Needs Immediate Action" Findings:</b>			
<b>Number of "Fail" Findings in the Job Audit(s):</b>			

**Formato 15. Ejemplo de Formato para CQI de cualquier Proceso.  
CQI-9 - Special Process: Heat Treat System Assessment.**

El Formato 15 muestra solamente la portada que suele utilizarse para resumir el proceso CQI para cualquiera de estos procesos.

- b) CQI-11. Sistema de Evaluación de Recubrimientos Metálicos. Este documento está constituido por los siguientes elementos:
  - a. Datos de la organización, selección del proceso de tratamiento que se está llevando a cabo y responsables (personal y auditores) de la evaluación.
  - b. Evaluaciones Generales 1 y 2. Ésta sección se divide en dos partes:
    - i. Administración de responsabilidades y planeación de la calidad.
    - ii. Responsabilidad de manejo de materiales en planta.

- c. Equipo de Recubrimiento de Zinc o Aleaciones de Zinc (3), donde se cuestionan elementos referentes a las calibraciones del equipo, mantenimiento de contenedores y rectificadores, evaluación de uniformidad de la temperatura, y revisión de termopares.
  - d. Equipo de Recubrimientos Decorativos (4), el cual se centra principalmente en recubrimientos de níquel, cobre y cromo, y que evalúa situaciones como si se tiene el equipo de control de proceso adecuado, si se tienen verificaciones adecuadas, mantenimiento adecuado de filtros, contenedores, rectificadores, termopares y alarmas.
  - e. Auditoría Laboral (Sección 5).
  - f. El resto del documento son apéndices sobre tablas de proceso, para facilitar la evaluación.
- c) CQI-12. Sistema de Evaluación de Recubrimientos No Metálicos. Este documento evalúa la administración del proceso de aplicación de pinturas, y está constituido por los siguientes elementos:
- a. Datos de la organización, selección del proceso de tratamiento que se está llevando a cabo y responsables (personal y auditores) de la evaluación.
  - b. Evaluaciones Generales 1 y 2. Ésta sección se divide en dos partes:
    - i. Administración de responsabilidades y planeación de la calidad.
    - ii. Responsabilidad de manejo de materiales en planta.
  - c. Auditoría Laboral (Sección 3).
  - d. El resto del documento son apéndices sobre tablas de proceso, para facilitar la evaluación.
- d) CQI-15. Sistema de Evaluación de Soldadura por Fundición. Este documento está constituido por los siguientes elementos:
- a. Datos de la organización, selección del proceso de tratamiento que se está llevando a cabo y responsables (personal y auditores) de la evaluación.
  - b. Evaluaciones Generales (1 - 5). Ésta sección se divide en cinco secciones:
    - i. Administración de responsabilidades y planeación de la calidad.
    - ii. Responsabilidad de manejo de materiales en planta.
    - iii. Equipo, Instalaciones y Controles. Esta sección evalúa la capacidad de las instalaciones para ser utilizadas en un proceso de soldadura, la capacidad de las fuentes de energía, calibraciones de los equipos, programas de mantenimiento preventivo, existencia de partes de reemplazo, y revisión de procesos, equipo y alarmas.
    - iv. Herramental y Escantillones. Aquí se evalúa la existencia de récords de diseño, el control de posición de cada característica, mantenimiento preventivo, robustez del escantillón, y diseño apropiado del herramental.
    - v. Control de Procesos, que incluye controles de detección y contención de fallas, calibración de sistemas, revisión continua de materiales, alarmas,



#### 4.6 Estudios Iniciales de Proceso

En esta sección se hacen evaluaciones estadísticas para determinar que elementos de gran importancia (como las características críticas) están estadísticamente controlados. Para ello se utilizan dos herramientas utilizadas ampliamente dentro de cualquier sistema de calidad: Estudios de Capacidad y Diagramas  $\bar{x}$  y  $R$ . Para poder hacer un estudio de proceso confiable, es de esperarse que se utilicen en promedio 300 mediciones, principalmente para los gráficos  $\bar{x}$  y  $R$ , ya que esas mediciones se dividirán en 30 muestras de 10 unidades cada una.

##### 4.6.1 Características Críticas

Las características críticas son dimensiones o propiedades del producto que podrían llegar a ser riesgosa para la seguridad del usuario del vehículo: si estas características fallasen, la vida de los pasajeros estaría en peligro. Ford, Chrysler y General Motors tienen el sistema de simbologías mostrado en la Tabla 6.

	Denominación	Símbolo	Descripción
No son de Seguridad	Característica de Funcionalidad	 F / F	Es una característica del producto cuya variación pudiese causar cierto grado de insatisfacción al cliente, sin representar necesariamente un peligro para su seguridad.
	Característica Significativa	S / C	Son aquellas características que son expresamente importantes para el cliente y que por ello se espera sean incluidas en un plan de control.
	Diamante	 D	Son aquellas características dirigidas por el proceso, lo que las obliga a requerir de control estadístico y estudios de habilidad durante la vida de la parte.
	Pentágono	 P	Es una característica crítica relevante indicada en planos y procedimientos, en el que la verificación sea necesaria, pero el control de proceso no.
Son de Seguridad	Característica de Seguridad	S / C	Es una característica del producto cuya variación pudiere representar el incumplimiento de regulaciones gubernamentales o un peligro para el cliente.
	Característica Crítica	 CC	Son parámetros que pudieren representar la violación de regulaciones gubernamentales o un peligro para el cliente, y que requieren acciones específicas de proceso y control.
	Escudo	 S	Diseñadas por requerimientos del producto, y se aplican a elementos que requieran controles especiales de manufactura, para cumplir regulaciones y por seguridad del usuario.

Tabla 6. Características especiales y críticas (reproducción).

Las hojas que se muestran en las páginas siguientes (Formatos 17 y 18) corresponden a controles estadísticos que suelen utilizarse para el análisis de las características especiales de un producto. Las herramientas más utilizadas para ese respecto son las usuales: el histograma, la hoja de Probabilidad Normal, el análisis de capacidad del proceso con base en la Distribución Normal, los gráficos de control y los diagramas de cajas. El utilizar un software estadístico o alguna hoja diseñada depende de las necesidades y capacidad de cada organización.

### Statistical Process Control Report (Average-Range Control Charts / Capability Analysis)

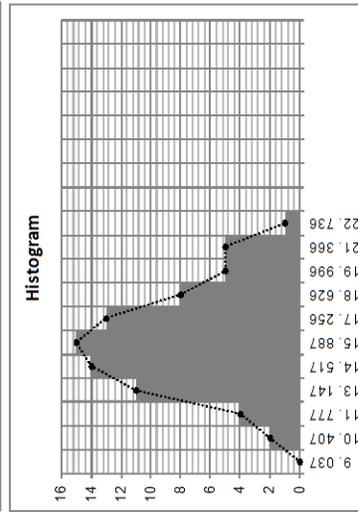
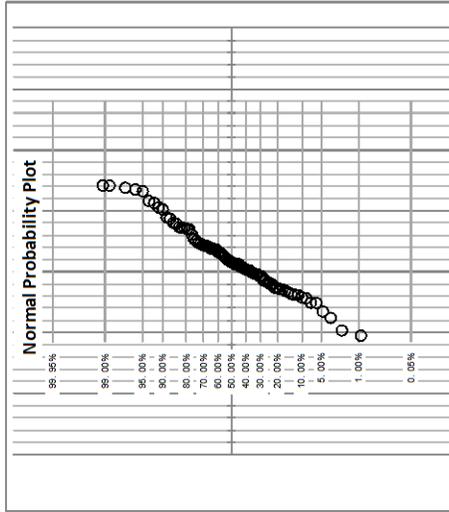
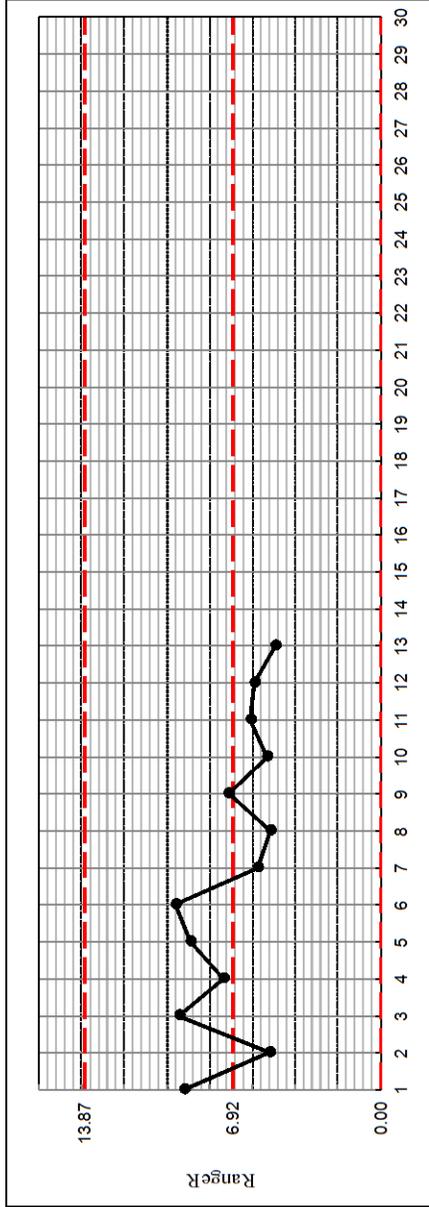
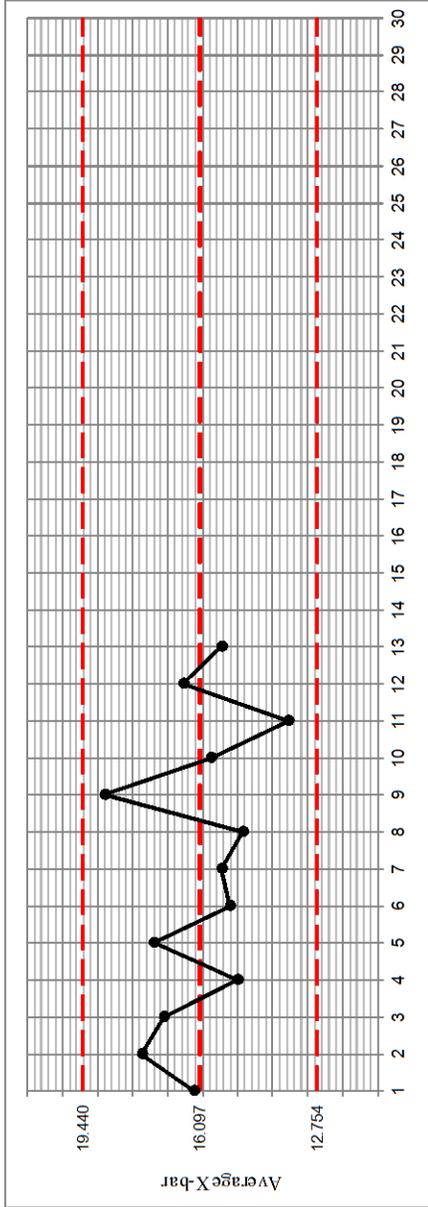
One sided (max)	One sided (min)	Two sided (bilateral)	Number of readings per subgroup	Box-Cox $\lambda$ :
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	6	2.00
Normality Options				
		No_Changes		

	X Chart	R Chart
Out of Control Limits	0	0
Data Points Above Upper Limit	0	0
Data Points Below Lower Limit	0	0

Starting Date:	17-Jul-2012
Stopping Date:	20-Jul-2012

$R^2$  0.9525

Facility Name:		Department:	
Part Number:		Drawing Number:	
Tool Description:		Eng. Chg. Level:	
Tool Number:		# Cavities:	
Dimension Number:		Units:	
Specification:		Lower Tolerance:	
		Upper Tolerance:	
		NOMINAL	
		UCL-X	
		X-bar <sub>av</sub>	
		LCL-X	
		UCL-R	
		R <sub>av</sub>	
		LCL-R	

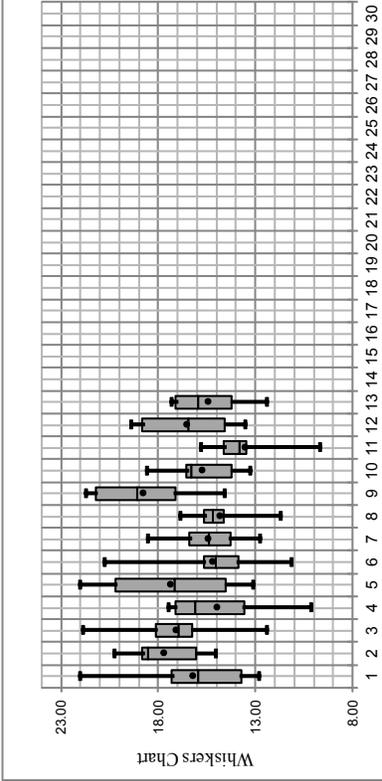
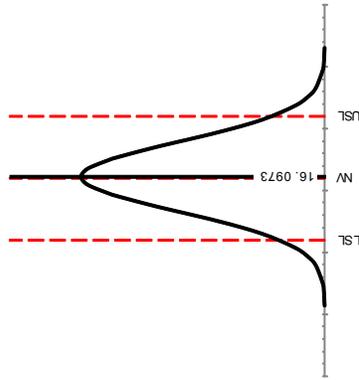


Formato 17. Ejemplo de Control Estadístico de Proceso (primera parte)  
(Reproducción).

Statistical Process Control Report (Average-Range Control Charts / Capability Analysis)

Facility Name:	Department:	
Part Number:	Drawing Number:	
Part Description:	Erg. Chg. Level:	
Tool Number:	# Cavities:	
Description:		
Specification:	Upper Tolerance:	Lower Tolerance:
16.0	5.0	5.0
Classes Range	Histogram Subgroups	
1.3699	9	
	Statistical Tools	
	USL: 21.000	0
	NOMINAL 16.000	0
	LSL: 11.000	0

Capability Analysis in a Supposedly Normal Distribution



Descriptive Statistics	Values
Number of readings	78
Lower Specification Limit (LSL)	11.0000
Nominal Value	16.0000
Upper Specification Limit (USL)	21.0000
Total Sum	1,255.59
Average Readings (X)	16.0973
Maximum Value	22.0510
Minimum Value	9.7220
Readings below LSL	2
Readings above USL	5
Average Range (R)	6.9215
D <sub>2</sub>	2.5340
Upper Capability Index (C <sub>PU</sub> )	0.5983
Lower Capability Index (C <sub>PL</sub> )	0.6220
Capability Index (C <sub>p</sub> )	0.6102
Process Capability (C <sub>pk</sub> )	0.5983
Centralization Index (C <sub>RM</sub> )	0.6098
Corrected Standard Deviation (n-1)	2.7902
Normal Standard Deviation (n)	2.7723
Corrected Variance (n-1)	7.7855
Normal Variance (n)	7.6857
Performance Index (P <sub>p</sub> )	0.8141
Performance Index (P <sub>pk</sub> )	0.8052
Performance Ratio (PR)	1.2283

CLEAR ALL DATA

		SUBGROUPS																																								
Date	Time	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30											
		13.10	15.05	16.00	17.10	19.01	14.76	12.79	16.88	18.04	16.57	13.41	13.52	17.35	18.62	13.65	14.23	16.84	11.72	21.72	18.62	13.55	9.72	17.28	13.93	13.52	17.35	18.62	13.65	14.23	16.84	11.72	21.72	18.62	13.55	9.72	17.28	13.93				
		22.05	18.58	21.86	15.13	14.24	11.18	14.91	11.72	21.72	18.62	13.65	14.23	16.84	11.72	21.72	18.62	13.55	9.72	17.28	13.93	13.52	17.35	18.62	13.65	14.23	16.84	11.72	21.72	18.62	13.55	9.72	17.28	13.93	13.52	17.35	18.62	13.65	14.23	16.84		
		15.59	18.45	17.02	17.12	22.04	15.74	14.10	15.59	16.82	13.55	9.72	17.28	13.93	13.52	17.35	18.62	13.65	14.23	16.84	11.72	21.72	18.62	13.55	9.72	17.28	13.93	13.52	17.35	18.62	13.65	14.23	16.84	11.72	21.72	18.62	13.55	9.72	17.28	13.93		
		12.86	15.22	16.90	10.15	13.14	15.34	18.55	14.78	20.08	13.30	13.97	15.58	12.41	13.52	17.35	18.62	13.65	14.23	16.84	11.72	21.72	18.62	13.55	9.72	17.28	13.93	13.52	17.35	18.62	13.65	14.23	16.84	11.72	21.72	18.62	13.55	9.72	17.28	13.93		
		16.30	18.90	12.43	17.50	15.36	13.61	15.91	15.63	14.60	16.43	15.81	19.33	17.18	13.52	17.35	18.62	13.65	14.23	16.84	11.72	21.72	18.62	13.55	9.72	17.28	13.93	13.52	17.35	18.62	13.65	14.23	16.84	11.72	21.72	18.62	13.55	9.72	17.28	13.93		
		17.63	20.25	18.49	13.05	20.62	20.78	16.55	14.58	21.58	16.18	14.84	19.43	15.09	13.52	17.35	18.62	13.65	14.23	16.84	11.72	21.72	18.62	13.55	9.72	17.28	13.93	13.52	17.35	18.62	13.65	14.23	16.84	11.72	21.72	18.62	13.55	9.72	17.28	13.93		

Como parte de un plan bien diseñado, es necesario llevar controles para poder tomar la información necesaria que nos servirá para asegurar la compleción de los requerimientos del cliente. Una de esas herramientas es el Plan de Inspección de Calidad (Formato 19), el cual simplemente es un formato de uso interno que enlista cada una de las características que deben considerarse para una pieza.

Suele ser utilizado por los inspectores de calidad quienes seleccionan una muestra de materiales.

<b>ORGANIZATION NAME</b>														
<b>Quality Inspection Plan (QIP)</b>														
PART NUMBER:		ENG. LEVEL:		DEPARTMENT:		PROJECT:			L RECEPTION QIP L PROCESS QIP L SHIPPING QIP					
PART NAME:		QIP REVISION:		DATE:		MADE BY:								
#	CHARACTERISTIC	CLASS	SPECIFICATION	INSPECTION METHOD	SAMPLE SIZE	SIGMA LEVEL	DATE:	TIME:	SHIFT:	INSP.:				
1														
2														
3														
4														
5														
6														
7														
8														
9														
10														
11														
12														
13														
14														
15														

**VISUAL AIDS**

PROCEDURE FOR MATERIALS IDENTIFICATION AND TRACKING:

A) RED CARD FOR NON-COMFORMING MATERIAL.

B) GREEN CARD FOR APPROVED MATERIAL.

PROCEDURE FOR NON-COMFORMING MATERIALS IDENTIFICATION AND TRACKING:

A) RED CARD FOR NON-COMFORMING MATERIAL.

B) RED ARROW INDICATING THE DEFECT IN NON-COMFORMING MATERIAL.

**REACTION PLAN**

ACCORDING TO MAINTENANCE PROCEDURES, ADJUST THE PARAMETERS OF THE EQUIPMENT.

A) STOP THE PROCESS.  
B) ASK FOR THE SERVICE OF PARAMETER READJUSTMENT.  
C) RELEASE THE PROCESS.

ACCORDING TO PROCEDURES OF NON-COMFORMING MATERIAL, IDENTIFY AND SEPARATE WRONG MATERIAL.

ACCORDING TO GENERAL PROCEDURES FOR CORRECTIVE ACTIONS:

A) STOP THE PROCESS.  
B) INFORM QUALITY, PRODUCTION OR ENGINEERING DEPARTMENTS.  
C) IDENTIFY THE ROOT CAUSE OF THE PROBLEM.  
D) CORRECT THE PROCESS.  
E) VALIDATE CORRECTIVE ACTIONS.  
F) RELEASE THE PROCESS.

RMM MATERIALS INFORMATION	
ID	MATERIAL NAME

**APPROVALS**

QUALITY DEPARTMENT	ENGINEERING DEPARTMENT	PRODUCTION DEPARTMENT

AUTHORIZED NAME AND SIGNATURE      AUTHORIZED NAME AND SIGNATURE      AUTHORIZED NAME AND SIGNATURE

Formato 19. Programa de Inspección de Calidad (reproducción).

## 4.7 Asegurando 3.4 ppm: Six Sigma

### 4.7.1 ¿Qué es Six Sigma?

Six Sigma es una metodología de mejora cuyo enfoque principal es la disminución de defectos (y por ende, el incremento de la calidad) mediante el uso de herramientas estadísticas para reducir la variación. Su objetivo es mejorar tanto procesos operativos como procesos transaccionales.

Para comenzar, es necesario dividir el sistema en tres apartados, como se ilustra en la Figura 13:



Figura 13. Relación Proceso, Producto y Cliente (elaboración propia).

El “Producto Comprobable” es el resultado tangible del proceso, es decir, es la razón de la existencia del mismo (el producto que directamente generará una ganancia): éste posee características que son necesarias para asegurar la satisfacción del cliente.

Para comenzar a trabajar un producto es necesario identificar cuáles son esas “Características Críticas para la Satisfacción del Cliente”. Un defecto es cualquier característica presente en el producto comprobable que no satisface las necesidades del cliente, y de acuerdo con las estadísticas, los defectos son responsables del 20 al 40% del costo de los bienes. Un proceso bajo Six Sigma puede presentar mejoras marginales del 20%, un aumento en la capacidad del 12 al 16% y sobre todo, un cambio cultural en la gente y procesos más capaces.



Figura 14. Las Mejoras en un Proceso (elaboración propia).

Para trabajar, suelen dividirse las tareas en niveles que resumen tanto la facilidad de realizar un cambio como su impacto, como se muestra en la Figura 14. El diagrama hace la comparación con un árbol y sus frutos, en el que los frutos más bajos son más fáciles de alcanzar, pero tienen impactos menores; mientras los más altos requieren un gran esfuerzo pero son cambios importantes para la organización.

#### 4.7.2 Etapas de Six Sigma

La metodología Six Sigma se divide en dos etapas:

- Caracterización del proceso, que es la recolección y el análisis de datos sobre el proceso, para ofrecer una idea de su situación actual e identificar las causas de variación y defectos.
- Optimización del proceso, que es el determinar soluciones para contrarrestar las causas, recolectar datos y realizar pruebas estadísticas para evaluar el impacto de las soluciones e instalar un sistema de monitoreo y control para mantener el desarrollo.

Alrededor de estas dos etapas giran las fases de la metodología (Figura 15):

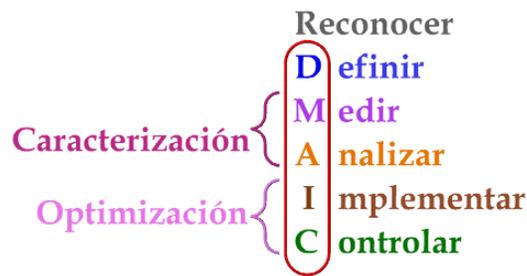


Figura 15. Etapas de Six Sigma (elaboración propia).

#### 4.7.3 Roles de Six Sigma

Six Sigma identifica a los responsables del proyecto asignándoles “rangos” específicos basados en su experiencia y en las tareas que llevarán a cabo para el proyecto de mejora:

- a. El Dueño del Proceso es aquél que identifica, define y es dueño del proyecto.
- b. Un Black Belt es aquél que guiará al equipo a través de las fases DMAIC.
- c. Un Campeón es quién colaborará con los dueños del proceso en la etapa de identificación y definición del proyecto; además de que es capaz de superar obstáculos que puedan surgir.
- d. El Master Black Belt es aquél que capacita y da apoyo a los Black Belts, Campeones y Dueños del Proyecto durante todo el proceso, particularmente en la ejecución del proyecto y el uso de las herramientas de Six Sigma.
- e. Finalmente, el resto del equipo proporcionará experiencia en el proyecto.

#### 4.7.4 Fases de la metodología Six Sigma

##### 4.7.4.1 Fase de Definición.

La fase de definición tiene como propósito el resumir los datos más básicos, como el producto comprobable, los clientes, lo que interesa a los clientes, lo que debe mejorarse, lo que debe medirse y qué puede mejorarse. Para esta fase se deben tomar en cuenta los siguientes conceptos y herramientas:

1. CTS (Crítico para la Satisfacción – Figura 16). En un proceso de alta calidad se crean productos comprobables siempre correctos, se enfocan en aquellos que le importa al cliente y la calidad se presenta desde el primer intento, sin necesidad de retrabajo o desperdicio. Hay tres tipos de CTS:

- i. CTQ, o crítico para la calidad, el cual hace referencia a la elaboración correcta del producto comprobable;
- ii. CTD, o crítico para la entrega, el cual hace referencia a los tiempos de entrega o de elaboración del producto comprobable;
- iii. CTC, o crítico para el costo, el cual simplemente es el mantenimiento de costos al rango más bajo posible, sin que ello comprometa las dos anteriores.

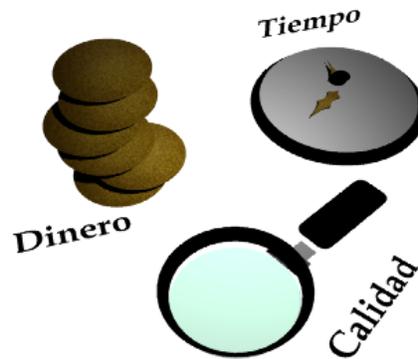


Figura 16. Críticos para la Satisfacción (elaboración propia).

2. Definición del Proyecto. Es identificar las características clave para entender qué es lo que se busca mejorar. Se basa en los siguientes cuestionamientos:

- i. ¿Qué es lo que se pretende llevar a cabo?
- ii. ¿Quién es el dueño del proceso y quién será el responsable del proyecto?  
¿quiénes serán los miembros del equipo?
- iii. ¿En dónde se llevará a cabo el proyecto?
- iv. ¿Cuál será el período de tiempo disponible para el desarrollo del proyecto?  
¿Cómo estará estructurado el calendario de trabajo?
- v. ¿Qué se busca mejorar o cuál es el propósito del proyecto?
- vi. ¿Cómo se llevará a cabo el proyecto?

3. Descripción del Proyecto. Simplemente es un documento que resume la información básica (y clave) para llevar a cabo el proyecto de mejora. La información más importante que debe de incluirse es la siguiente:

- i. Título del Proyecto,
- ii. Impacto del Proyecto, es decir, ¿qué se espera obtener cuando se haya concluido el proceso?
- iii. Alcance y límites del proyecto: ¿qué unidad de negocios se encargará de llevar a cabo el proyecto? ¿qué áreas funcionales estarán involucradas? ¿cuál será la ubicación geográfica?, y ¿cuáles son los procesos clave?
- iv. Declaración del problema: ¿qué está mal con qué? ¿qué parámetros se utilizan para responder la pregunta anterior?
- v. ¿Qué variables de respuesta se van a medir?
- vi. Cuantificación del problema: ¿cuáles son las condiciones? ¿cuál será la extensión del proyecto? ¿qué especificaciones hay que tomar en cuenta?

4. Diagrama IPO (Entradas - Proceso - Salidas). Es un diagrama bastante sencillo, pero que a su vez resume información muy importante, como se resume en la Figura 17:



Figura 17. Diagrama IPO (elaboración propia).

Cuando se indican además quiénes son los proveedores y los clientes, suele conocerse como diagrama SIPOC ('Suppliers', 'Ins', 'Process', 'Outs' y 'Customers').

#### 4.7.4.2 Fase de Medición

El propósito en esta fase es el identificar las variables que caracterizan al proyecto y medir su desempeño. Las herramientas principales para llevar a cabo esta etapa se basan en estudios estadísticos.

a. Salidas del Proceso. Un elemento clave a considerar es que debemos enfocar la obtención de datos a aquellas características del proceso que son críticas. A éstas las denominaremos *y*'s, para incluirlas dentro de la expresión siguiente:

$$y = f(x);$$

A pesar de ser bastante explicativa, la trataremos más adelante.

b. Mapa del Proceso. Es un diagrama que indica mediante símbolos específicos cómo es el proceso actual. Entre sus ventajas están el hacer evidentes los pasos que no agregan valor, y es particularmente efectivo cuando se lidia con procesos transaccionales, ya que muestra los procesos "invisibles". Un ejemplo se muestra en la Figura 18 y suele utilizar los elementos de la Tabla 7.

Inicio o Final del Proceso	Actividad Específica	Punto de Inspección
Solamente debe de haber dos de estos símbolos en el mapa, ya que es importante identificar dónde comenzaría un proceso actual, y en qué punto concluiría.	Cada una de las actividades que se llevan a cabo durante el proceso, sin importar si son operaciones o inspecciones.	Son puntos que poseen una entrada y dos salidas, y usualmente contestan la pregunta: "¿el producto es aprobado o rechazado?"

Tabla 7. Elementos de un mapa de proceso (reproducción).

Es importante que todos los miembros del equipo tengan acceso a este mapa, además de que cualquier revisión, corrección y sugerencia es bienvenida. Para llevar a cabo un mapa de proceso “cómo es”, se recomienda seguir el siguiente método:

1. Identificar cuáles son el inicio y el fin del proceso;
2. Mediante una tormenta de ideas, armar un proceso tentativo;
3. Realizar una investigación de campo para recolección de datos;
4. Elaborar una lista de procesos clave;
5. Dar una primera revisión al bosquejo;
6. Realizar otra investigación de campo en busca de más características;
7. Identificar los pasos de inspección, retrabajo, reparación y desperdicio;
8. Armar el Mapa de Proceso Inicial.

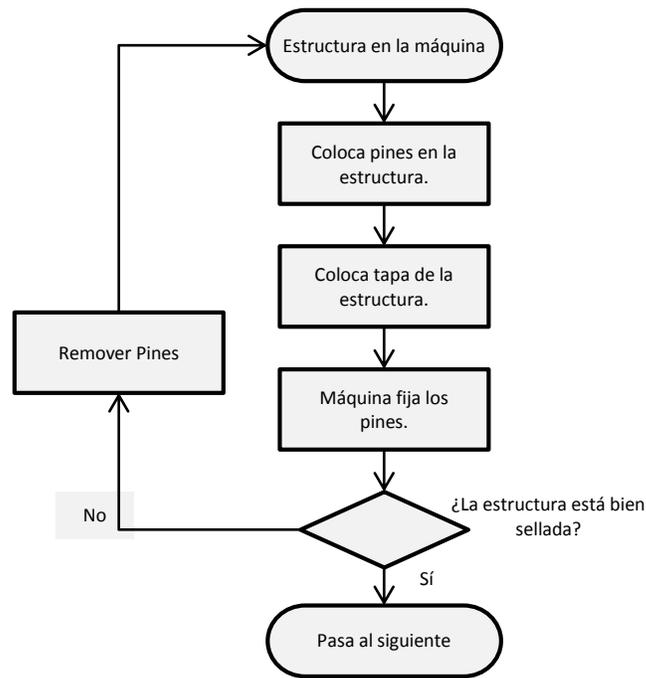


Figura 18. Ejemplo de Mapa de Proceso (elaboración propia).

Hay que buscar que el mapa sea sencillo, usualmente de 5 a 10 pasos, para facilitar su comprensión y su manejo. Cuando se haya terminado el mapa, deben de identificarse dentro del mismo qué actividades no agregan valor, para enfocarse en eliminarlas o reducirlas al mínimo.

Como paso siguiente, se elabora un mapa “como debe ser”, en el cual ya se han eliminado las actividades que no tienen valor agregado.

c. Uso de datos. Los datos son mediciones u observaciones que registramos y utilizamos para analizar el proceso. Mediante el uso de datos se pueden obtener estadísticas, las cuales son capaces de describir productos y procesos con más detalle, colaborar a la obtención de conclusiones y permiten pronosticar resultados sobre el proceso. Sin embargo, hay que tomar en cuenta lo siguiente cuando se hace una toma de datos:

- i. Deben medirse únicamente aquellos datos que realmente son necesarios para el proceso, ya que el mismo proceso de obtención de datos es costoso y toma mucho tiempo.
- ii. Verificar que los datos obtenidos sean los correctos al comparar el error de medición con la variación en los artículos.
- iii. Confiar en que la toma de datos es correcta, y que sus conclusiones también lo son.
- iv. Buscar la mayor eficiencia, es decir, obtener la mayor cantidad posible de información utilizando la menor cantidad posible de datos.

d. Uso de datos variables. Existen dos tipos de datos: de variables y de atributos. En el proceso de medición siempre debe buscarse la utilización de datos de variables, ya que éstos proporcionan más detalles, requieren de muestras más pequeñas para el análisis, y ofrecen la posibilidad de detectar tendencia y condiciones futuras. La desventaja de los datos de atributos, aunque sea más sencilla su obtención, es que no permiten detectar las causas de los defectos y no son tan precisos con índices bajos de defectos.

Las herramientas más básicas para el análisis de datos de variables se resumen a:

- i. Aquellas que muestran la forma de la distribución de los datos, específicamente el histograma (Figura 19), en el cual prácticamente la única consideración a tomar en cuenta es utilizar un número apropiado de clases.

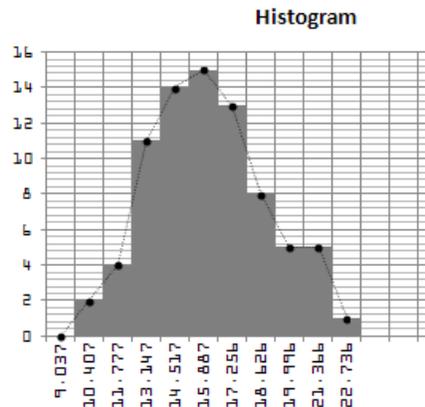


Figura 19. Histograma (elaboración propia).

- ii. Aquellas que muestran la variación de cada muestra de los datos, específicamente el gráfico "boxplot" (Figura 21). La Figura 20 muestra las características de cada caja.

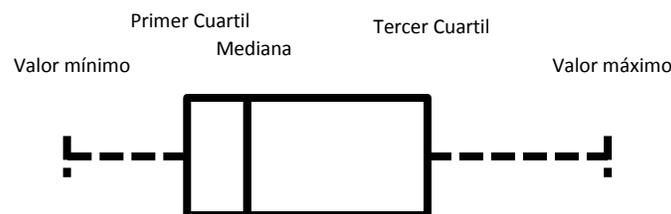


Figura 20. Estructura Básica de una Caja "Boxplot" (elaboración propia).

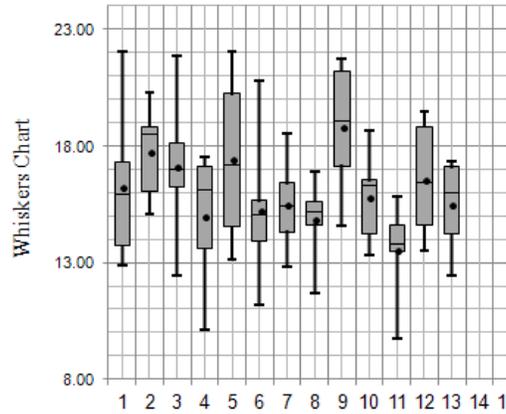


Figura 21. Diagrama de Cajas (elaboración propia).

iii. Análisis de pruebas de normalidad (bondad de ajuste – Figura 22), ya que la mayoría de las distribuciones se ajustan a un gráfico normal.

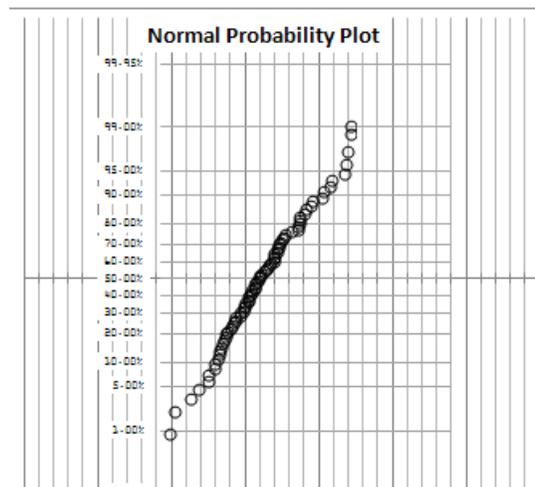


Figura 22. Gráfico de Probabilidad Normal (elaboración propia).

iv. Manejo de datos no normales (transformación). Cuando se presentan datos que no siguen un gráfico normal, se suele utilizar transformaciones para ajustarlos, en especial basadas en la función logaritmo y exponencial.

- Si los datos son sesgados a la derecha, se recomienda intentar el uso de las siguientes funciones:  $\log(y)$ ,  $\ln(y)$ ,  $\sqrt{y}$ ,  $\sqrt[3]{y}$ ,  $\frac{1}{\sqrt{y}}$  y  $\frac{1}{y}$ .

- Si los datos son sesgados a la izquierda, se recomienda intentar el uso de las funciones  $y^2$  y  $y^3$ .

Sin embargo, hay que tener cuidado, ya que hay que evaluar profundamente los datos para poder decidir si es necesario aplicar un ajuste o no (para ello se muestran las herramientas anteriores): también es necesario conocer algunas distribuciones y cómo se comportan al aplicarlas en las herramientas anteriores.

- v. Manejo de datos no normales (uso de distribuciones alternativas). Si no es efectivo el proceso, se suelen utilizar distribuciones de probabilidad diferentes, en especial la distribución de Weibull.

$$f(x) = \frac{\alpha x^{\alpha-1} e^{-\left(\frac{x}{\beta}\right)^\alpha}}{\beta^\alpha};$$

Donde si el valor de  $\beta$  se aproxima a 1.0, la distribución se aproximará a una curva exponencial; y si se acerca a 3.5, la distribución se aproximará a una curva normal.

Sin embargo, los manuales AIAG referentes a control estadístico de procesos suelen recomendar el uso de las siguientes distribuciones de ajuste:

- Transformación de Box Cox. Ésta es una de las transformaciones que permite facilitar la evaluación de datos, al transformar datos no normales en datos normales. Se calcula de la siguiente manera:

$$y_i^{(\lambda)} = \begin{cases} \frac{y_i^\lambda - 1}{\lambda}, & \lambda \neq 0; \\ \log(y_i) & \lambda = 0 \end{cases}$$

- Transformación Log Normal de Johnson. Existe la posibilidad de que los datos tengan una tendencia log-normal, y si es el caso puede utilizarse la transformación log-normal para adecuar los datos:

$$[y_i]_{log-N} = \ln(y_i);$$

- Distribución de Johnson Limitada. La siguiente distribución está dada por la siguiente ecuación:

$$[y_i]_{JB} = \ln\left(\frac{y_i}{1 - y_i}\right);$$

- Distribución de Johnson Ilimitada. Ésta está dada por la fórmula siguiente:

$$[y_i]_{JUB} = \operatorname{asinh}(y_i);$$

a. Uso de datos de atributos. Si se utilizan datos de atributos para el análisis, se encontrarán dos clasificaciones clave: el número de artículos defectuosos y el número de defectos. Los parámetros comúnmente utilizados son el DPO (defectos por oportunidad), DPMO (defectos por millón de oportunidades), los PPM (partes por millón), oportunidades para n unidades, y la RTY (eficiencia rolada total).

Haciendo énfasis en ésta última, es un parámetro que muestra la “fábrica escondida”, el nombre común para denominar aquellos costos que son resultado de retrabajos y reparaciones.

A pesar de que a primera vista puede interpretarse el desempeño de una fábrica mediante el hecho de que toda la materia prima se haya utilizado exitosamente (indicando que no hubo pérdidas), la presencia de defectos en cada paso del proceso implica un costo extra, lo que

convierte a RTY en un indicador más confiable del desempeño. Matemáticamente es el producto de las eficiencias de cada estación:

$$RTY = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \dots$$

Para obtener cada una de las eficiencias, se hace la división del número de piezas que salieron exitosamente del proceso y en la primera vez, sobre el número de piezas que entró al proceso. No se toman en cuenta las unidades que se retrabajaron, y al final se suele armar un diagrama como la Tabla 8.

Etapa	Inicio del Proceso	Operación 1	Operación 2	Operación 3	Final del Proceso
Número de unidades que entran.	100	100	89	87	85
Número de unidades que salen.		89	87	85	
Eficiencia.		$\eta_1 = \frac{89}{100};$	$\eta_2 = \frac{87}{89};$	$\eta_3 = \frac{85}{87};$	

Tabla 8. Ejemplo de RTY (elaboración propia).

$$RTY = \left(\frac{89}{100}\right) \left(\frac{87}{89}\right) \left(\frac{85}{87}\right) = (0.89)(0.97)(0.97) = 0.83;$$

El porcentaje restante del RTY es la fábrica escondida.

b. Tiempos de Proceso. Otro factor que hay que tomar en cuenta en esta fase, son los tiempos de proceso, en especial anotando los tiempos de espera (las demoras), los tiempos de ciclo (tiempos de valor agregado), el tiempo transcurrido (total) y el tiempo de almacenamiento. Para la obtención de estos datos se suelen hacer muestreos con entre 10 y 30 mediciones y de datos históricos. Independientemente de que se utilicen datos históricos o no, debe hacerse uso de una "Hoja de Recolección de Datos" bien diseñada, para facilitar el ordenamiento de la información. Cuando se hayan recolectado los datos con base en el Mapa de Proceso, se debe adjuntar a cada cuadro de actividad el tiempo promedio y su desviación estándar; y buscar cuál puede ser la fuente de variación en el proceso con más peso.

c. Costo de la Mala Calidad (COPQ). Un punto importante a tomar en cuenta es la evaluación de los costos que implican una calidad deficiente, ya que dicha evaluación dará una visión más realista sobre las ventajas de implementar el proceso Six Sigma a la organización. Se clasifican de la siguiente forma:

- a. Costos de Fallo Interno, es decir aquellos costos por defectos antes del embarque de los productos;
- b. Costos de Fallo Externo, o presentes durante los envíos al cliente;

- c. Costos de Avalúo, que son los derivados por descubrir la condición del producto;
- d. Y los Costos de Prevención, que son aquellos derivados de prevenir los errores.

Las ventajas de la implementación de un proyecto deben enfocarse a la reducción mediante:

- i. Ahorros de reducción de costos por defectos;
- ii. Ahorros de reducción de costos de evaluación e inspección;
- iii. Flujo de trabajo mejorado,
- iv. Tiempos de ciclo más cortos.

Mediante análisis más detallados, el equipo puede concluir que la estimación de ahorros de la etapa de Definición del proyecto es muy exagerada, o tal vez concluya que hay aún más oportunidades de ahorro.

d. Herramientas Estadísticas. Cuando se tiene una serie de datos para análisis, uno de los métodos menos eficientes para la evaluación de dichos datos es pretender hacer reacciones con base en cada uno de ellos, en lugar de tratarlos como un conjunto.

Para un análisis efectivo de una serie de datos variables a través del tiempo, es recomendable el uso de Gráficos de Control (Figura 23), en el cual debemos recordar que si el proceso está bajo control, nos permitirá hacer predicciones sobre el futuro, calcular la capacidad y reducir la variación y estimar los costos de dicha variación.

No hay que olvidar que debemos buscar que el gráfico muestre un patrón aleatorio, evitar las tendencias y asegurarse de que 2/3 de los datos están dentro de un tercio de la línea central.

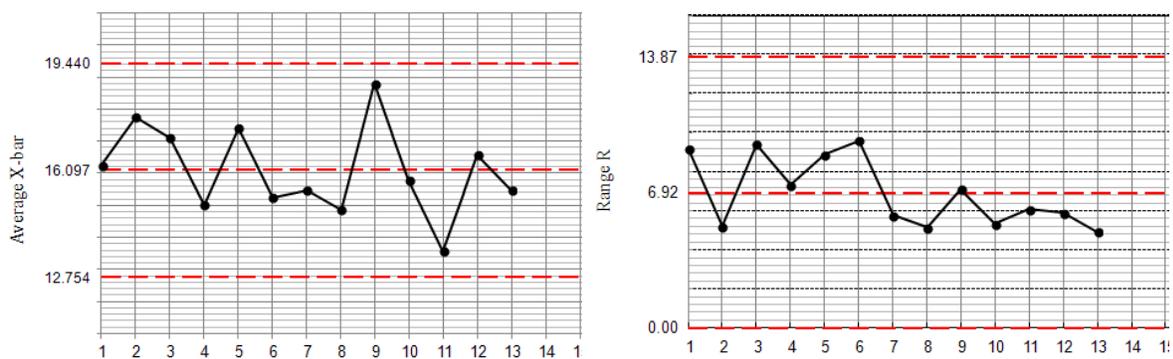
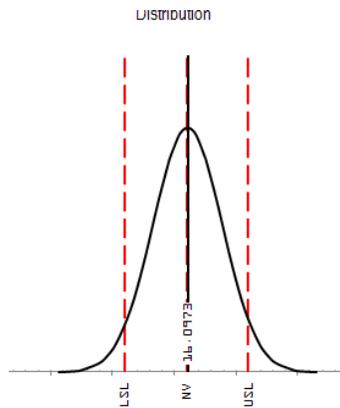


Figura 23. Gráficos de Control para Promedios y Rangos (elaboración propia).

Un Gráfico de Control correcto requiere un mínimo de 20 grupos de muestras de 5 datos cada una, colocadas de manera aleatoria, y en períodos de tiempo relativamente cercanos. Todo esto con el afán de evitar sesgos en el análisis cometidos por factores externos.

Otra herramienta muy útil es un estudio de Capacidad del Proceso (Figura 24), tomando en cuenta el uso de al menos 30 datos para apegarse a la distribución normal (y facilitar el cálculo); y es necesario hacer un Análisis del Sistema de Medición antes de tomar los datos, para asegurarse de que el sistema es el más apropiado.



**Figura 24. Capacidad del Proceso (elaboración propia).**

e. Plan de Recolección de Datos. Para llevar a cabo la recolección de datos de una manera rápida y efectiva, es necesario que todos los miembros del equipo comprendan a la perfección lo que les corresponde en dicho período. Para ello es de gran utilidad una hoja de verificación, la cual debe de contener al menos las siguientes características:

- a. ¿Cuál va a ser el modo en el que se recolectará la información? ¿qué características se van a medir? ¿qué instrumentos se emplearán?
- b. ¿Cuánta información se obtendrá?
- c. ¿Cuál es la segmentación más útil para obtener la información (tiempo, operación, responsable, etc.)?
- d. ¿Cuánto tiempo tomará la recolección de información?
- e. ¿Quiénes serán los encargados de llevar a cabo la medición?

Además, hay que tomar en cuenta las siguientes consideraciones:

- i. Es preferible utilizar datos históricos en lugar de intentar recopilarlos, esto con el afán de reducir tiempos de trabajo y costos innecesarios.
- ii. Si después de una reflexión profunda se llega a la conclusión de que los datos históricos no son de utilidad, debe de planearse la recolección en un tiempo menor a 3 semanas.
- iii. Utilizar mediciones en lugar de encuestas, ya que las últimas están sujetas a la subjetividad, consumen tiempo de los operadores, suelen traspapelarse y perderse, son difíciles de analizar y representan una molestia para los clientes.

#### 4.7.4.3 Fase de Análisis.

Como su nombre lo dice, el objetivo es analizar los datos que hemos obtenido gracias a la fase de medición. Se presentará una serie de herramientas clave para poder hacer un análisis más imparcial y efectivo. Siempre es importante recordar diferenciar los datos de atributos de los datos de variables, ya que los últimos mostrarán información más específica del proceso (Figura 25).

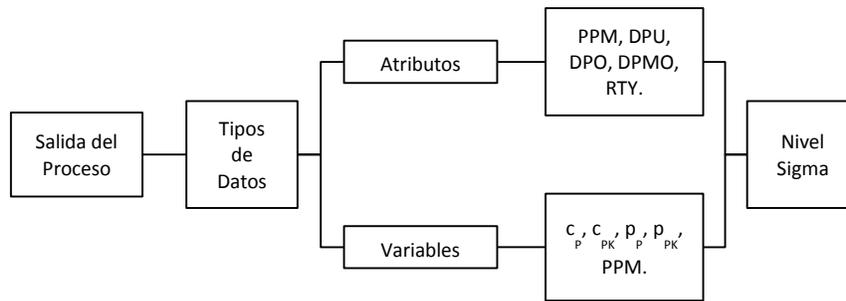


Figura 25. Datos de Atributos y Variables (reproducción).

a. Análisis de Causa y Efecto. El diagrama de Ishikawa es una herramienta fundamental para el análisis, ya que el primer paso para éste es evaluar cuáles son los principales parámetros que influyen en nuestras salidas. Previamente se indicó que se manejarían las salidas como una función de las entradas, es decir,

$$y = f(x);$$

... donde y representa las variables de salida del proceso (KPOV's); y x representa las variables de entrada (KPIV's).

Las categorías que comúnmente se utilizan para evaluar el diagrama de pescado son: personas, máquinas, materiales y métodos, aunque las categorías en realidad son definidas por la naturaleza del proyecto. Para poder hacer un diagrama de pescado efectivo simplemente hay que contestar repetidamente la pregunta “¿por qué?”, e intentar indagar en las causas más profundas de los problemas (lo que o hace diferente de una tormenta de ideas). Al proponer ideas, hay que evitar proponer soluciones, sino únicamente causas.

Cuando se tenga un número considerable de causas, un proceso de votación será suficiente para seleccionar las más importantes, y después de ello se verificará que las causas son las correctas mediante pruebas estadísticas.

b. Quality Function Deployment (QFD). Es un diagrama parecido a una matriz que cita de manera muy específica una variedad de requerimientos del cliente contra requerimientos de diseño (Figura 26). El que se muestra como ejemplo (obtenido de Implementing of Six Sigma, de Forrest W. Breyfogle II), específicamente identifica lo siguiente:

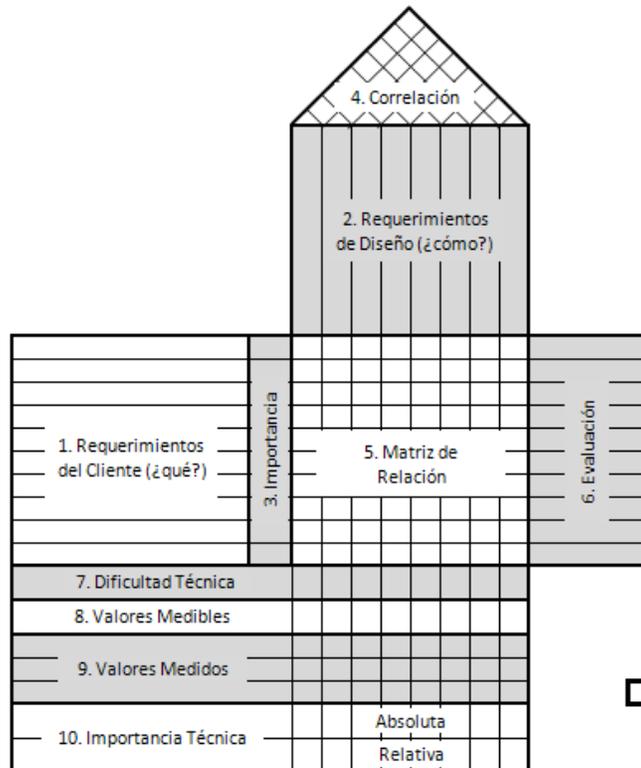


Figura 26. Despliegue de la Función Calidad<sup>3</sup>.

1. Requerimientos del Cliente (¿qué?) indica, como su nombre lo dice, cuáles son las necesidades del cliente tal como éste lo expresa.
2. Requerimientos de Diseño (¿cómo?) implica la traducción de los requerimientos del cliente en los parámetros que podrán alterarse en el diseño del producto/servicio.
3. Importancia es, de acuerdo al cliente, lo crítico de cada uno de los requerimientos. Suele expresarse en niveles (del 1 al 10, por ejemplo).
4. Correlación es la relación entre los requerimientos de diseño. Suele expresarse con símbolos que indiquen fuerte, media o débil correlación.
5. Matriz de Relación, solamente es la relación que existe entre el diseño y los requerimientos del cliente. También se indica mediante un número o un código que se relacione a una escala.
6. Evaluación es, usualmente contra la competencia, qué tan bien (o mal) se desempeña cada característica, de acuerdo al juicio del cliente.
7. Dificultad Técnica es una ponderación que se refiere a su nombre.
8. Valores Medibles se refiere a los valores a los que cada requerimiento de diseño debe de llegar para ser satisfactorio.
9. Valores Medidos son aquellos obtenidos mediante experimentación y medición.

- <sup>3</sup> FORREST W., Breyfogle II. *Implementing Six Sigma*. John Wiley & Sons, 2 edición, EEUU.

10.Importancia Técnica implica la prioridad de cada requerimiento de diseño. Se divide en dos partes: absoluta y relativa. La primera se obtiene mediante la suma de los productos de los valores de la matriz de relación para cada requerimiento, contra la importancia del cliente para cada valor; la segunda es una evaluación a grandes rasgos basada en la anterior.

c. Matriz de Causa y Efecto (Figura 27). Es una matriz resumen que se basa en el mapa del proceso. Específicamente se utiliza para identificar y evaluar el efecto de las variables de entrada. La siguiente tabla muestra cómo es la matriz:

		Salidas del Proceso						Total
		Salida 1	Salida 2	Salida 3	Salida 4	Salida 5	Salida 6	
		Nivel de Importancia para el Cliente						
		#	#	#	#	#	#	
Paso del Proceso	Variable de Entrada	Fuerza de las Correlaciones						
Paso 1	Entrada 1	#	#	#	#	#	#	
	Entrada 2	#	#	#	#	#	#	
	Entrada 3	#	#	#	#	#	#	
Paso 2	Entrada 1	#	#	#	#	#	#	
	Entrada 2	#	#	#	#	#	#	

Figura 27. Matriz Causa y Efecto<sup>4</sup>.

Los pasos recomendados para la construcción de una Matriz de Causa y Efecto son:

1. Identificar las variables KPOV;
2. Calificar la importancia de las variables KPOV para el cliente;
3. Para cada KPOV buscar las causas o variables de entrada;
4. Determinar la fuerza de las correlaciones mediante una calificación del 1 al 10;
5. Calcular un total para cada variable de entrada;
6. Priorizar las variables de entrada más altas, ya que es probable que al ajustarlas las salidas se corrijan en cierto grado.

d. Tipos de Variables de Entrada. Hay dos clasificaciones:

1. Variables Controlables, las cuales son aquellas que están o pueden controlarse mediante procedimientos de operaciones estándar, como la fuerza de presión ejercida, la temperatura del horno, el tiempo de calentado, etc.
2. Variables de Ruido, las cuales no pueden ser controladas, como la temperatura del ambiente, la hora a la que un cliente entrega su orden, etc. Únicamente se puede disminuir su efecto.

<sup>4</sup> FORREST W., Breyfogle II. *Implementing Six Sigma*. John Wiley & Sons, 2 edición, EEUU.

e. Herramientas Estadísticas. Entra las herramientas estadísticas más útiles en esta fase están el Análisis de Correlación, el cual se utilizará para determinar si existe una correlación entre la variable de salida y las variables de entrada (correlación no necesariamente implica dependencia); la obtención de Intervalos de Confianza; Pruebas de Hipótesis; comparación de poblaciones y análisis de proporciones; ANOVA; Regresión Lineal, Múltiple y Polinomial; y Análisis de Residuos (que se comporten con base en una distribución normal y que muestren independencia).

#### 4.7.4.4 Fase de Mejora.

El objetivo de esta fase es la implementación de medidas que contrarresten la variación en los procesos, la cual es la última causante de la presencia de defectos y desperdicios. El propósito es atacar a las causas de dicha variación, mediante su reducción o eliminación.

a. Diseño de Experimentos. El propósito de llevar a cabo experimentos es el identificar, verificar y optimizar variables clave, además de hacer que los procesos sean más poderosos frente a factores de ruido. Un experimento debe de tener los siguientes componentes:

- i. Respuesta de Salida, que es la variable que se pretende mantener bajo control;
- ii. Factores de Entrada, que son las variables de entrada;
- iii. Niveles de los Factores de Entrada, usualmente dos o tres, que son las cantidades que se utilizan como variables de entrada;
- iv. Interacciones entre los Factores de Entrada;
- v. Pruebas.

El propósito es ver los cambios que se producen en la respuesta de salida al variar las condiciones de entrada. Como ejemplo, utilizaremos los siguientes factores de entrada, de la Tabla 9:

Elemento	Nivel de FE	Valor
Factor de Entrada: Presión (P)	Alta (+)	400 [psia]
	Baja (-)	500 [psia]
Factor de Entrada: Temperatura (T)	Alta (+)	1000 [°F]
	Baja (-)	1400 [°F]
Factor de Entrada: Tiempo de Prueba (t)	Largo (+)	1 [hrs]
	Corto (-)	2 [hrs]

**Tabla 9. Factores de Entrada (elaboración propia).**

...y el factor de salida será la cantidad de microorganismos que sobreviven el experimento (S).

Para llevar a cabo un Diseño de Experimentos es necesario seguir una serie de pasos:

1. Determinar la capacidad actual del proceso;
2. Decidir cuál será el objetivo del experimento;

3. Proponer ¿qué se va a medir durante el experimento?
4. Determinar qué factores afectarán el resultado;
5. Asignar niveles apropiados para cada factor;
6. Seleccionar el esquema experimental que se utilizará;
7. Verificar los sistemas de medición mediante el MSA;
8. Preparar los recursos y el personal para llevar a cabo el experimento;
9. Llevar a cabo el experimento;
10. Tomar la mediciones y analizar los datos;
11. Determinar cuál es la combinación de factores más cercana al objetivo;
12. Correr un experimento de confirmación;
13. Mantener los factores clave en los niveles apropiados;
14. Determinar nuevamente la capacidad del proceso.

b. Diseño Factorial Completo  $2^k$  ( $2^3$ ). Es uno de los más básicos, y lo que propone es llevar a cabo el experimento combinando las entradas de todas las formas posibles. Mientras más factores y más niveles se propongan, el análisis se volverá considerablemente más complejo. Los niveles de los factores se representarán mediante signos; y como también es importante considerar las interacciones entre los factores, sus niveles serán la multiplicación de los niveles de los factores individuales. Los efectos se resumen en la siguiente tabla (Tabla 10):

#	P	T	t	P-T	P-t	T-t	PTt	Salida
1.	-	-	-	+	+	+	-	S1
2.	-	-	+	+	-	-	+	S2
3.	-	+	-	-	+	-	+	S3
4.	-	+	+	-	-	+	-	S4
5.	+	-	-	-	-	+	+	S5
6.	+	-	+	-	+	-	-	S6
7.	+	+	-	+	-	-	-	S7
8.	+	+	+	+	+	+	+	S8

Tabla 10. Diseño Factorial Completo (primera parte) (elaboración propia).

Después, utilizando los valores que se obtengan en la salida, se crea el siguiente cuadro (Tabla 11):

#	P	T	t	P-T	P-t	T-t	PTt
+	$\bar{S}_{1234}$	$\bar{S}_{1256}$	$\bar{S}_{1357}$	$\bar{S}_{1278}$	$\bar{S}_{1368}$	$\bar{S}_{1458}$	$\bar{S}_{1467}$
-	$\bar{S}_{5678}$	$\bar{S}_{3478}$	$\bar{S}_{2468}$	$\bar{S}_{3456}$	$\bar{S}_{2457}$	$\bar{S}_{2367}$	$\bar{S}_{2358}$
$\Delta$	$\Delta_P$	$\Delta_T$	$\Delta_t$	$\Delta_{P-T}$	$\Delta_{P-t}$	$\Delta_{T-t}$	$\Delta_{PTt}$

Tabla 11. Diseño Factorial Completo (segunda parte) (elaboración propia).

El  $\Delta$  más significativo es el que muestra qué factor es el más significativo para la salida. Se puede llevar a cabo el mismo experimento tanto para los promedios  $S$  de las muestras, como para las desviaciones estándar  $\sigma_s$  de las muestras.

c. Ecuación de Predicción. Esta ecuación se utiliza para hacer predicciones sobre los resultados al variar los niveles de entrada (es importante notar que los niveles de entrada deben

presentarse con valores numéricos, para que la ecuación tenga resultado). De los valores  $\Delta_i$  se utilizarán los más importantes únicamente.

$$\hat{y} = \bar{y} + \left(\frac{\Delta_i}{2}\right) i;$$

Donde  $i$  simboliza tanto cada uno de los factores individuales más importantes, como las interacciones entre los mismos que pudiesen ser más importantes también.

d. Diseños Fraccionales Factoriales. Es prácticamente el mismo diseño que el factorial completo, pero sin analizar todas las combinaciones posibles, sino solamente una parte de ellas. Como este diseño tiene cierto riesgo al confundir la acción de factores e interacciones entre sí, se divide en tres “resoluciones”:

i. Resolución III, cuando los niveles de un factor son iguales a los niveles de una interacción de 2 factores. Se usan cuando se cree que no hay interacciones fuertes.

ii. Resolución IV, cuando los niveles de un factor son iguales a la interacción entre tres factores, o cuando los niveles de una interacción de dos factores son iguales a los de otra interacción de dos factores. Se usa cuando no se quiere que los efectos principales se confundan con las interacciones de dos factores.

iii. Resolución V, cuando los niveles de una interacción de dos factores son iguales a los niveles de una interacción de tres factores. Se usa cuando se necesita evaluar los efectos principales y las interacciones de dos factores.

#### 4.7.4.5 Fase de Control.

Siendo la última fase del proceso, su propósito es que se mantengan los avances obtenidos a través del tiempo, y sus herramientas son controles de verificación que señalan que los métodos y los procedimientos efectivamente se están llevando a cabo.

a. Las herramientas más comunes son el Plan de Control, la Hoja de Trabajo Estándar, Auditorías 5's, Gráficos de Control para promedio y rango, de individuales, de atributos y tipo EWMA; entre otras.

b. Dispositivos a Prueba de Errores. Definimos un error como el origen de las equivocaciones, y a su vez éstas son el origen de los defectos; por ello, la eliminación de los errores resulta en una eliminación automática de los defectos.

Hay varios tipos de manejo de errores, entre los cuales destacan la eliminación (que no ocurran más esos errores: naturalmente la estrategia más efectiva); la reposición (sustituir el proceso por uno más confiable); la habilitación (hacer el proceso más sencillo de realizar); la detección y la mitigación.

Finalmente, y para concluir con esta sección, hay que destacar que algunas herramientas útiles para la minimización de errores son la simplificación del proceso, el uso de Control Estadístico, el uso de calibradores y escantillones, dispositivos de verificación y validación, y formatos electrónicos, aunque cualquier método es bienvenido.

#### 4.7.5 DFSS o DMADV

Cuando se pretende desarrollar un producto que aún no se ha elaborado o que aún después de implementar DMAIC no logra cumplir con los estándares del cliente, la alternativa inmediata es DMADV, siglas de: Definir, Medir, Analizar, Diseñar y Verificar. A grandes rasgos sigue un proceso similar a DMAIC, que se resume como sigue:

1. Llevar a cabo una lluvia de ideas,
2. Determinar la "Voz del Cliente",
3. Realizar el Diagrama "IPO",
4. Determinar el Impacto del Proyecto,
5. Realizar un Diagrama de Gantt para la calendarización del proyecto,
6. Determinar métricas (y's),
7. Llevar a cabo una Análisis de Pareto para determinar las salidas importantes,
8. Realizar el Mapa del Proceso,
9. Realizar un Diagrama Causa - Efecto para proponer posibles Variables de Entrada,
10. Resumir la información en una Matriz Causa - Efecto,
11. Determinar los indicadores KPIV (entradas),
12. Realizar un FMEA para posibles fallas,
13. Hacer un análisis de correlación entre las KPIV y las KPOV,
14. Análisis de datos (Residuos, etc...),
15. Conducir Pruebas de Hipótesis,
16. Análisis de Relación (ANOVA, Regresión, etc.),
17. Conducir un Diseño de Experimentos (Factorial, Fraccional, etc.),
18. Determinar el KPIV a utilizar,
19. Crear el Plan de Control,
20. Verificar los estadísticos clave (Capacidad, Estabilidad, etc.).

## **Capítulo 5. Elementos de un PPAP: Miscelánea.**

### **5.1 Documentación de Laboratorios**

Integrado en el paquete PPAP debe venir información avalada por laboratorios que indique la conformidad de las pruebas realizadas. Éste punto se centra principalmente en el certificado emitido principalmente por A2LA (Asociación Americana para Acreditación de Laboratorios), una institución pública que certifica los laboratorios de una institución, certificación que avala que los equipos y el personal que labora dentro de ese laboratorio está capacitado (o en el caso del equipo y la maquinaria) para llevar a cabo estudios confiables para la organización.

La importancia de este documento para el PPAP recae en que para la realización de las pruebas (e.g. dimensionales y estadísticas) relacionadas a la pieza, es necesario, además de utilizar el equipo adecuado y hacer las mediciones de la manera correcta (MSA), contar con el equipo adecuado para asegurar la máxima confiabilidad de los datos.

En el caso específico de A2LA, ésta se centra principalmente en el estándar ISO/IEC 17025, que es el más utilizado en materia de certificación de laboratorios, los cuales se centran principalmente en la gestión de la calidad dentro del laboratorio.

### **5.2 Fundamentos de ISO 9000**

#### **5.2.1 ¿Qué es ISO 9000?**

En la gestión de la calidad siempre se busca adecuar que los productos o servicios que ofrecen las organizaciones cumplan con cada uno de los requerimientos del cliente. El estándar ISO 9000 (cuya versión actual más popular y completa para revisión de sistemas es ISO 9001:2008, emitida por la Organización Internacional de Estándares – International Standards Organization –), es una serie de lineamientos cuyos propósitos se resumen a asegurar que una organización es capaz de cumplir completamente los requerimientos para el diseño y la evaluación de un sistema de administración de la calidad.

El estándar ISO 9000 se aplica únicamente para las organizaciones y evalúa de manera conjunta aquellos departamentos que están involucrados de una u otra manera con el producto o servicio que se proporciona al cliente (sin que ello signifique que el estándar evalúe el producto como tal).

El estándar es lo suficientemente flexible para adecuarse a los diversos tipos de organizaciones (si no lo fuera, no serviría), además de que su enfoque está dirigido a evitar que cualquier no conformidad logre llegar a manos del cliente (además de prevenir su ocurrencia).

Un punto importante a tomar en cuenta es que el estándar se ha vuelto tan importante que es un requisito expreso de prácticamente toda la cadena automotriz (i.e. una organización que no cuenta con ISO 9000 no tendrá la oportunidad de pertenecer a dicha cadena), sin tomar en cuenta que últimamente se opta por exigir también el cumplimiento de ISO 14000 (sobre Medio Ambiente). El estándar más adecuado relacionado a la industria manufacturera es ISO/TS 16949 (cuya versión más reciente es ISO/TS 16949:2009), el cual además de incluir los requerimientos de ISO 9000, se enfoca en la reducción de desechos en la producción.

Anteriormente existían diversos niveles para ISO 9000, siendo el más sencillo el denominado ISO 9003 y el más completo (para certificación) el ISO 9001. En la fase de diseño se

suele aplicar el estándar ISO 9004. Una ventaja de la norma ISO 9001 es que, además de ser la única que puede certificarse (por una organización externa), puede certificarse una familia de productos que dependan del mismo sistema de calidad.

Sin embargo, la principal ventaja de la posesión de un certificado ISO 9000 es el reconocimiento internacional y una consecuente apertura de oportunidades de negocio, principalmente porque la norma intenta recopilar las “mejores prácticas” de gestión (término que otros estándares suelen utilizar, como ITIL, para sistemas informáticos).

### 5.2.2 La certificación ISO 9000

Para obtener una certificación, es necesario invitar a un equipo de auditores que se enfocarán a comprender y explicar la situación actual, y su ajuste a cada uno de los puntos de la norma. El proceso usualmente es el mostrado en la Figura 28:

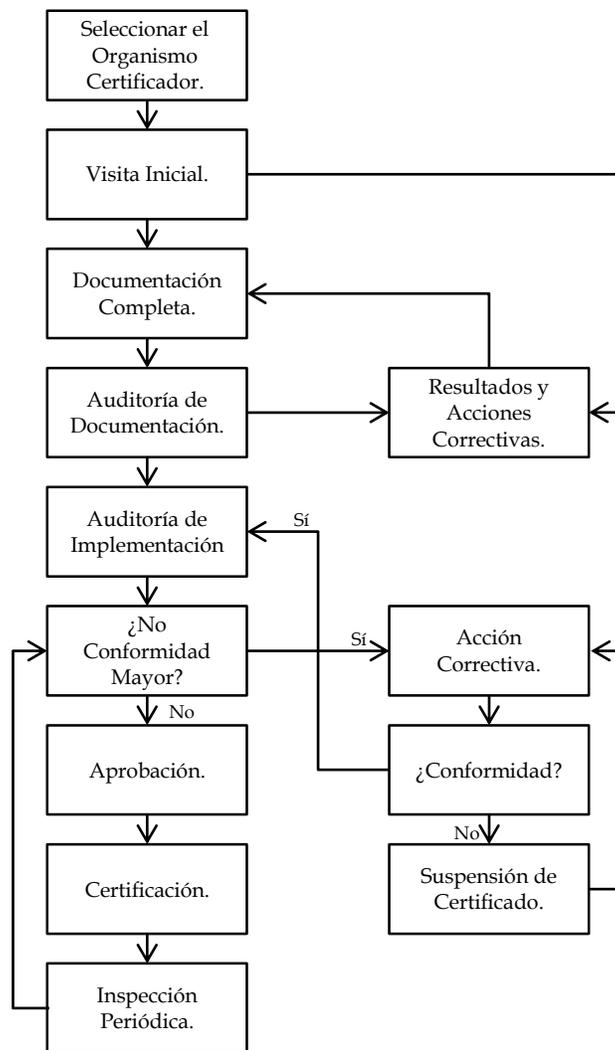


Figura 28. Proceso de Certificación ISO 9000<sup>5</sup>.

<sup>5</sup> CARBEDILLO Nava, Víctor Manuel. *ISO 9000:2000, Estrategias para implantar la norma de calidad para la mejora continua*. Limusa, 1 edición, México.

Un evaluador usualmente se enfocará en hacer un muestreo de diferentes elementos requeridos por la norma, en especial para asegurarse de que todos los procedimientos e información relacionada a los productos esté bien documentada, además de que realmente se está llevando a cabo lo asegurado por la misma documentación (cosa por la cual muchos confunden la norma con “documentar todo”).

### 5.2.3 Requerimientos básicos de ISO 9000

Uno de los puntos más importantes en una organización es el involucramiento de la dirección en el esfuerzo por la mejor calidad, y esto se podría traducir en la existencia de un propósito y misión de la organización, además del establecimiento de una política de calidad coherente.

Enfocándonos específicamente a la política de calidad, hay que prestar atención a las siguientes recomendaciones:

- a) Debe determinarse qué se hace actualmente en la organización;
- b) Debe determinarse a qué se quiere llegar en la organización, traduciendo los objetivos en metas medibles.
- c) Evitar la carga de responsabilidades y la descripción de alternativas al propósito principal (de una manera burda, no buscar culpables ni excusas).

La norma podría resumirse a requerimientos dentro de los siguientes rubros:

- a) Involucramiento de la Dirección;
- b) Documentación y control de la información más relevante;
- c) El departamento de Compras y sus proveedores;
- d) Identificación y seguimiento del producto;
- e) Control y mejora continua de los procesos;
- f) Etapa de inspección y pruebas del producto, equipos de medición, control de material no conforme, y acciones preventivas y correctivas;
- g) Relacionados al embalaje y a la logística;
- h) El servicio post-venta.

Usualmente la certificación en ISO 9000 tiene un costo relativamente elevado (naturalmente, dependiendo del tamaño de la organización), por ello es necesario que la organización evalúe si es necesario (y justificar esa necesidad) que se implemente formalmente ISO 9000 (podría no certificarse, pero llevar a cabo los procedimientos). El Proceso de Mejora se resume en la Figura 29.

La planificación del proceso de mejora suele darse en las siguientes actividades:

- a) Determinar aquellas actividades que deberán llevarse a cabo, además de establecer fechas para la completitud de dichas actividades;
- b) Asegurar el compromiso de la alta dirección (que es frecuente sea este rubro el más difícil de asegurar);
- c) Como en Six Sigma, es necesario esperar cierto tiempo (usualmente tres meses) para la evaluación de los cambios realizados;
- d) Determinación del presupuesto, y no dudar en contratar a un profesional si llegase a ser necesario;

- e) Nombrar aquellos que serán responsables por el proceso;
- f) Llevar un control de documentos relacionados al Sistema de Gestión de la Calidad.

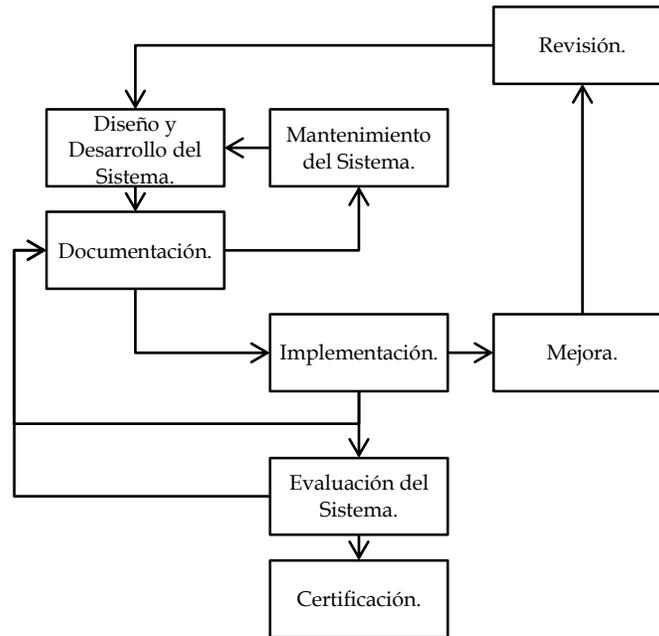


Figura 29. Proceso de Mejora<sup>6</sup>.

Una buena forma de comenzar a trabajar es averiguando la opinión del cliente respecto a la calidad del producto o servicio que se le está ofreciendo, además de que es necesario colocar una etapa de inspección final en el proceso productivo, para la segregación de materiales defectuosos.

Deben de buscarse errores dentro de los productos, sin olvidar otros procesos (como el área de compras, ventas, etc.): todas las herramientas que hemos evaluado serán de gran utilidad para esta tarea).

De acuerdo a David Hoyle (en “ISO 9000, Manual de Sistemas de Calidad”), un sistema de calidad documentado podría ajustarse a lo siguiente:

### 5.3 Muestras de Producción

Se deben otorgar al cliente muestras de la corrida de producción inicial para que él tenga la posibilidad de hacerles pruebas extraordinarias necesarias y así asegurarse de que el producto es el apropiado.

### 5.4 Muestra Maestra

Es una muestra de la misma corrida inicial, la cual usualmente se utiliza para fines de capacitación a inspectores y a operadores para que puedan hacer verificaciones visuales y de otras propiedades.

<sup>6</sup> CARBEDILLO Nava, Víctor Manuel. ISO 9000:2000, Estrategias para implantar la norma de calidad para la mejora continua. Limusa, 1 edición, México.

### 5.5 Ayudas para la Revisión

Se espera que el proveedor tenga un sistema de revisión de los materiales que va a entregar, y por ello muchas veces es necesario que instale sistemas de ayuda para que esta revisión sea más fácil y sencilla. Si este es el caso, es necesario que organice un reporte para el cliente en el cual indique cuáles serán éstos y cuáles las características de las ayudas que pretende utilizar. Los más utilizados son escantillones (ejemplo del Formato 20), que son arreglos mecánicos sencillos, pero cuya finalidad es comprobar características importantes en una pieza (como la posición de un agujero o la longitud de un pin).

Para utilizar un escantillón, es necesario que éste se ajuste a las características que se evaluarán del plano, sin perjudicar las tolerancias que el mismo diseño permite. Es necesario hacer una prueba dimensional del escantillón y presentársela al cliente, para demostrar que respetará al dibujo, además de incluir un documento para aprobación.

Ya que haya sido aprobado el escantillón, es necesario tener controles de capacitación para los empleados. De preferencia, estos documentos deberán estar a la vista de cualquier empleado, para que pueda desarrollar su labor sin tener que recurrir constantemente al supervisor. Además, es necesario incluir en el área de trabajo un ODS (Hoja de Información de Operaciones).

<b>Checking Fixture Approval</b>			
ORGANIZATION NAME: _____	PROJECT: _____		
CHECKING FIXTURE CODE: _____	DRAWING NUMBER: _____	REV. LEVEL: _____	
PART NUMBER: _____	PART NAME: _____	REV LEVEL: _____	
CUSTOMER: _____	APPROVAL DATE: _____	REV. DATE: _____	
DISCREPANCY ITEMS		ACCEPTANCE CRITERIA / ACTION ITEMS	

**Formato 20. Aprobación de Escantillón (reproducción).**

### 5.6 Hoja de Información de Operaciones

Una hoja de operaciones (Formato 21) es un documento presente en el área de trabajo, la cual contiene una descripción detallada de las operaciones que se llevan a cabo en cada estación, para que los operadores sepan qué hacer cuando se presenten situaciones específicas que no requieran del apoyo de un supervisor. Es necesario que contenga al menos los siguientes elementos:

- a) Información básica de la pieza a manufacturar: número de parte, descripción, nivel de ingeniería, estación, descripción del proceso y proyecto al que pertenecerá (e.g. el modelo del vehículo).

- b) Equipo de protección personal necesario, como guantes de seguridad, gafas de protección, protección auditiva, protección para soldaduras, etc.
- c) Consideraciones ambientales, como la disposición de los desechos, y cuidados especiales que deban tomarse en cuenta durante el proceso.
- d) Inicio de operaciones, es decir, qué proceso se debe de seguir para poder comenzar la producción.
- e) Criterios a seguir para tratar con las características críticas o especiales.
- f) Acciones para elementos y material no conforme.
- g) Herramientas necesarias, su descripción y su cantidad.
- h) Ajuste de parámetros (cada característica que se debe de obtener en cada operación debe de estar plasmada en este documento).
- i) Ayudas visuales y descripción del proceso.
- j) Repartición de responsabilidades.

Operations Data Sheet (ODS)					
CUSTOMER:		SECTION:		CRITICAL OR SPECIAL CHARACTERISTICS CRITERIA:	ACTIONS TO NONCONFORMING ITEMS
PART NUMBER:		STATION:			
ENG REV LEVEL:		PROCESS DESCRIPTION:			
PART NAME:		PROJECT:			
PERSONAL PROTECTION EQUIPMENT:	ENVIRONMENTAL CONSIDERATIONS:	SYMBOLS	EQUIPMENT SETUPS:		
		SPECIAL CHARACTERISTIC			
					
PARAMETERS ADJUSTMENT					
ID	DESCRIPTION				

**Formato 21. Hoja de Operaciones (reproducción).**

### 5.7 Datos sobre Empaque y Embalaje

Cuando se hace referencia al transporte de materiales para una línea de producción, es de particular importancia tomar en cuenta el embalaje (Formato 22), con especial cuidado a que éste sea capaz de soportar la carga de los materiales, y que la distribución de éstos no provoque que sean dañados en el proceso. Usualmente se incluye:

- a) Información sobre la pieza, el proveedor y el proyecto al que pertenece, aunque con especial consideración a los volúmenes de demanda y de producción, además del número de piezas que será incluido dentro de un pallet.
- b) Dibujos o diagramas sobre el empaque, en especial sobre la pieza, la pieza acomodada dentro de su contenedor, la unidad de transporte y los empaques de emergencia.
- c) Detalles sobre el empaque: como las dimensiones del contenedor; la cantidad de piezas por contenedor; el peso del contenedor vacío, el de las piezas, y el del conjunto completo; la inclusión de grasa; el uso de bolsas plásticas, divisores internos verticales y horizontales, o papel para envolver.
- d) Aprobaciones de los departamentos internos de la empresa y por parte del cliente.

# Packing Data Sheet

<b>1) SUPPLIER DOCUMENTATION</b>	
SUPPLIER CODE:	DATE:
SUPPLIER NAME:	
ADDRESS:	
AUTHORIZED SIGNATURE:	E-MAIL:
PRINT NAME:	PHONE:
TITLE:	FAX NUMBER:

<b>2) PROJECT</b>	
PROJECT NUMBER:	

<b>3) SUBMISSION</b>	
LAUNCH	<input type="checkbox"/>
CHANGE	<input type="checkbox"/>
OTHER	<input type="checkbox"/>

<b>4) PART INFORMATION</b>		
PREFIX	PART NUMBER:	INDEX
		PART NAME:
MONTHLY DEMAND:		PARTS PER PALLET:

**OTHER PART NUMBERS WITH THE SAME PACKING DETAILS (EMPTY TYPE, WEIGHT, NUMBER OF PARTS PER EMPTY, ...)**

1		7	
2		8	
3		9	
4		10	
5		11	
6		12	

<b>5) PHOTOS / SKETCHES OF THE PACKING</b>	
PART	PART ARRANGED IN CONTAINER
SHIPPING UNIT	
EMERGENCY PACKING	

<b>7) CUSTOMER REPLY</b>	
NAME:	
SIGNATURE:	
TITLE:	
FAX:	
PHONE:	
E-MAIL:	

<b>8) INTERNAL AUDIT</b>	
DEPARTMENT	DATE
MATERIAL MANAGEMENT:	SIGNATURE
MANUFACTURING ENGINEERING:	
PRODUCTION:	
QUALITY ASSURANCE:	
LOGISTICS:	

6) PACKING DETAILS			
#	CHARACTERISTIC	VALUE	UNITS
1	EMPTY BOXTYPE OR NUMBER		N/A
2	LENGHT		[mm]
3	WIDTH		[mm]
4	HEIGHT		[mm]
5	NUMBER OF PARTS PER EMPTY		[units]
6	TARE		[Kg]
7	PART WEIGHT		[Kg]
8	GROSS WEIGHT		[Kg]
9	PALLET TYPE OR NUMBER		N/A
10	COVER TYPE OR NUMBER		N/A
11	ESD PACKING	<input type="checkbox"/> YES <input type="checkbox"/> NO	
12	GREASED	<input type="checkbox"/> YES <input type="checkbox"/> NO	
13	POLYBAG	<input type="checkbox"/> YES <input type="checkbox"/> NO	
14	INLAY DIVIDER	<input type="checkbox"/> YES <input type="checkbox"/> NO	
15	LAYER PAD	<input type="checkbox"/> YES <input type="checkbox"/> NO	
16	WRAPPING PAPER	<input type="checkbox"/> YES <input type="checkbox"/> NO	
17 - OTHER (SPECIFY)			

Usage note: Completeness check for points 1) to 7) by MM department before forwarding.

## 5.8 Garantía de Partes para Entrega

Es el documento más importante de todo el paquete PPAP (ejemplo mostrado en el Formato 23), ya que es el resumen de toda la información contenida dentro de éste, y es el documento que contendrá el acuerdo de ambas partes respecto a la aprobación/rechazo de la pieza. Sus partes son:

<b>Part Submission Warrant</b>			
Part Name _____	Cust. Part Number _____		
Shown on Drawing Number _____	Orig. Part Number _____		
Engineering Change Level _____	Dated _____		
Additional Engineering Changes _____	Dated _____		
Safety and/or Government Regulation <input type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> No	Purchase Order No. _____ Weight (kg) _____		
Checking Aid Number _____	Checking Aid Eng. Change Level _____ Dated _____		
ORGANIZATION MANUFACTURING INFORMATION	CUSTOMER SUBMITTAL INFORMATION		
Organization Name & Supplier/Vendor Code _____	Customer Name/Division _____		
Street Address _____	Buyer/Buyer Code _____		
City _____ Region _____ Postal Code _____ Country _____	Application _____		
MATERIALS REPORTING			
Has customer-required Substances of Concern information been reported? <input type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> n/a			
Submitted by IMDS or other customer format: _____			
Are polymeric parts identified with appropriate ISO marking codes? <input type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> n/a			
REASON FOR SUBMISSION (Check at least one)			
<input type="checkbox"/> Initial submission	<input type="checkbox"/> Change to Optional Construction or Material		
<input type="checkbox"/> Engineering Change(s)	<input type="checkbox"/> Sub-Supplier or Material Source Change		
<input type="checkbox"/> Tooling: Transfer	<input type="checkbox"/> Change in Part Processing		
<input type="checkbox"/> Correction of Discrepancy	<input type="checkbox"/> Parts produced at Additional Location		
<input type="checkbox"/> Tooling Inactive > than 1 year	<input type="checkbox"/> Other - please specify _____		
REQUESTED SUBMISSION LEVEL (Check one)			
<input type="checkbox"/> Level 1 - Warrant only (and for designated appearance items, an Appearance Approval Report) submitted to customer.			
<input type="checkbox"/> Level 2 - Warrant with product samples and limited supporting data submitted to customer.			
<input type="checkbox"/> Level 3 - Warrant with product samples and complete supporting data submitted to customer.			
<input type="checkbox"/> Level 4 - Warrant and other requirements as defined by customer.			
<input type="checkbox"/> Level 5 - Warrant with product samples and complete supporting data reviewed at organization's manufacturing location.			
SUBMISSION RESULTS			
The results for <input type="checkbox"/> dimensional measurements <input type="checkbox"/> material and functional tests <input type="checkbox"/> appearance criteria <input type="checkbox"/> statistical process package			
These results meet all design record requirements: <input type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> NO (if "NO" - Explanation Required)			
Mold / Cavity / Production Process _____			
DECLARATION			
I affirm that the samples represented by this warrant are representative of our parts, which were made by a process that meets all Production Part Approval Process Manual 4th Edition Requirements. I further affirm that these samples were produced at the production rate of XXXX pc/XXXX hrs. I also certify that documented evidence of such compliance is on file available for your review. I have noted any deviation from this declaration below.			
EXPLANATION/COMMENTS: _____ _____ _____ _____			
Is each Customer Tool properly tagged and numbered? <input type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> n/a			
Organization Authorized Signature _____	Date _____		
Print Name _____ Phone No. _____	Fax No. _____		
Title _____	E-mail _____		
FOR CUSTOMER USE ONLY (IF APPLICABLE)			
PPAP Warrant Disposition: <input type="checkbox"/> Approved <input type="checkbox"/> Rejected <input type="checkbox"/> Other _____			
Customer Signature _____	Date _____		
Print Name _____	Customer Tracking Number (optional) _____		

**Formato 23. Garantía de Partes para Entrega.  
Production Part Approval Process. AIAG, 4<sup>TH</sup> Version, 2006.**

- a) Nombre de la parte;
- b) Número de dibujo, código de proveedor y de cliente;
- c) Nivel de cambio de ingeniería y cambios adicionales, incluyendo fecha;
- d) Regulaciones gubernamentales y de seguridad;
- e) Número de orden de compra;
- f) Peso de la pieza;
- g) Código de las ayudas para revisión y nivel de ingeniería, incluyendo fecha;
- h) Dirección de la organización manufacturera;
- i) Dirección de la organización cliente;
- j) Reporte de materiales de especial consideración, y el código IMDS;
- k) Identificación de polímeros mediante los códigos ISO;
- l) Razón para la entrega;
- m) Nivel de entrega solicitado;
- n) Resultados de pruebas sobre la pieza y sobre el proceso de producción;
- o) Declaración. Este elemento es un acuerdo que asegura el proveedor indicando que la pieza cumple con los requerimientos de manufactura. Dice lo siguiente:

«Yo afirmo que las muestras representadas por esta garantía son representativas de nuestras piezas, las cuales fueron manufacturadas por un proceso que cumple con lo requerido por el Manual del Proceso de Aprobación de Partes para Producción\*. Además afirmo que estas muestras fueron elaboradas a una tasa de producción de n piezas en n horas. También certifico que evidencia documentada de dicho cumplimiento está en un archivo disponible para su revisión. Ya he aclarado toda desviación de la declaración antes dicha.»

Dependiendo de la edición que se esté utilizando del manual de AIAG, ésta declaración podrá cambiar o no; sin embargo, el significado es el mismo: asegurar que el documento representa a las piezas a producir. Debajo de esta declaración se incluye un apartado para explicaciones y comentarios, además de un campo de selección que indica si todas las herramientas para la manufactura de la pieza están apropiadamente etiquetadas y numeradas.

- p) Información sobre el representante de la organización, como el nombre, su firma, y su contacto.
- q) Sección de manejo del cliente.

En esta sección se resume el trabajo realizado para poder obtener este documento. Un representante del cliente evaluará el paquete entregado y dará los resultados al proveedor y a su empresa.

El cliente tiene tres opciones:

- a) Aprobar el PPAP, con lo que acepta que el documento está 100% dentro de lo que se requirió;
- b) Rechazar el PPAP, con lo que indica que el documento no cumple con lo requerido, es decir, la pieza está fuera de especificaciones, hace falta información clave, los certificados no cumplen con lo solicitado, o inclusive si llegase a haber una actitud deshonesto por parte del proveedor;
- c) Aprobar temporalmente el documento (Aprobación interina), es decir, el PPAP no cumple con lo requerido en un 100%, pero sí a un nivel aceptable como para autorizar la entrega

de materiales. Ejemplos de un PPAP que puede aprobarse así es por falta de información no indispensable, dimensiones que no afectan el desempeño o el ensamble de la pieza, o cuando se trata de una pieza de poco valor. Sin embargo, entre los motivos por los que no se puede aceptar un PPAP interino están materiales no conformes (aceros fuera de especificación), dimensiones importantes, pruebas necesarias (como la de flamabilidad) e incumplimiento de reportes estadísticos.

Cuando un PPAP es rechazado el cliente tiene la obligación de bloquear el acceso de materiales de ese proveedor e interrumpir el proceso, principalmente por los riesgos a correr si permite el libre acceso de la producción.

A nivel interino, el PPAP estará autorizado hasta una fecha límite para la entrega/corrección del resto de la información.

### 5.9 Requerimientos Específicos del Cliente

Además de la información básica que debe de incluirse dentro del documento, cada cliente tendrá requerimientos específicos para la pieza, y cuando es posible, es necesario llevarlos a cabo.

## **Capítulo 6. Fracasar en los Requerimientos del Cliente**

A pesar de ser poco común, no es del todo raro fracasar en la obtención de la aprobación de un PPAP: así como se puede fracasar en la obtención de los beneficios derivados de Six Sigma o en el retiro de la certificación ISO 9000, hay diversas consecuencias que pueden resultar de una falla en la documentación PPAP como de una pieza defectuosa.

### **6.1 Documentos de Autorización a Cambios de Ingeniería**

Cuando sea necesario hacer un cambio en el proceso de manufactura o en las características de la pieza a entregar, el proveedor deberá dar parte de dicho cambio al cliente, para que así el cliente pueda evaluar el impacto de dichos cambios a su proceso de producción. Se esperará una autorización o una orden de compra correspondiente al nuevo nivel de ingeniería de la pieza por parte del cliente para proceder con dicho cambio.

#### **6.1.1 Solicitud de Desviaciones**

En caso de que algún requerimiento del diseño del producto no haya sido cumplida en un 100%, el proveedor puede optar por la opción de solicitarle a su cliente aceptar una desviación temporal de las tolerancias de la pieza, a fin de evitar re-trabajar los productos ya manufacturados. En este documento el proveedor debe de especificar las fábricas del cliente que se verían afectadas por esta situación, además de las implicaciones económicas que dicho cambio suscitaría. También es necesario que especifique qué elementos son los que se verían afectados (números de parte), y la razón por la cual se está llevando a cabo tal solicitud.

Las razones más comunes son elementos que directamente no cumplen con las características originales de diseño; cuando se necesitan los productos antes de la emisión de la aprobación de la pieza por las áreas de Ingeniería/Calidad; cuando el proveedor no puede cumplir el Plan de Control al pie de la letra o cuando el proceso no es capaz (estadísticamente).

### **6.2 Rechazos del Cliente**

Hay un sinnúmero de razones por las cuales puede llegar una pieza defectuosa a manos de un cliente, y esto puede volverse particularmente grave dependiendo de qué falló en la pieza. Lo primero que deberá preocuparnos es que si el defecto llega al cliente final, podría poner en peligro la estructura completa del vehículo, la integridad de los dispositivos para su ensamble, y la integridad de algún trabajador de la cadena o del cliente final. Así como puede ser un error de falta de recubrimiento, puede ser también una pieza rota o un material demasiado débil para su funcionamiento.

Para evitar que un error se propague a lo largo de toda la cadena, lo que suele hacerse es detener la línea completa de producción y llevar a cabo una contención sobre todas las piezas del mismo número de parte (tipo), es decir, los inspectores de calidad en ocasiones pueden llegar a evaluar una a una las piezas involucradas para asegurarse de que el error no se repita.

Cuando se detecta un error, es necesario que tal sea reportado al proveedor con la información más completa acerca de qué salió mal: esto prácticamente disparará una alarma entre cliente y proveedor: un procedimiento de este estilo suele incluir imágenes sobre la falla, descripciones, cantidades de material defectuoso, e incluso el envío de muestras para su evaluación.



6. Implementación y verificación de las acciones llevadas a cabo,
7. Tomar las acciones preventivas necesarias, y
8. Felicitar al equipo de trabajo por una labor exitosa.

CORRECTIVE ACTIONS REPORT		ORGANIZATION'S NAME	
SMRR No: _____	Person Who Detected the Issue: _____	Start Date: _____	Rev Date: _____
Customer: _____		Address: _____	
<b>1) TEAM MEMBERS</b>			
Print Name: _____	Date: _____	Print Name: _____	Date: _____
Activity: _____		Activity: _____	
Signature: _____		Signature: _____	
Print Name: _____	Date: _____	Print Name: _____	Date: _____
Activity: _____		Activity: _____	
Signature: _____		Signature: _____	
<b>2) PROBLEM DESCRIPTION</b>			
_____			
_____			
<b>3) CONTAINMENT</b>			
_____			
<b>4) ROOT CAUSE</b>			
_____			
<b>5) CORRECTIVE ACTIONS</b>			
	CHARACTERISTIC	COMPLETION DATE	
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
<b>6) VERIFICATION</b>			
	PROGRESS	COMMENTS	
<b>7) PREVENTIVE ACTIONS</b>			
_____			
<b>8) CONGRATULATE TEAM</b>			
_____			

Rev: 1-13-03

**Formato 25. Reporte de Acciones Correctivas (reproducción).**

### 6.4 Cargos al Proveedor

Un defecto suele detener la línea de producción completa, además de obligar al cliente a gastar recursos que no estaban contemplados a la revisión y contención de las piezas defectuosas, sin tomar en cuenta otros gastos (como visitas y desecho de materiales): es normal que el responsable (el proveedor) deba hacerse cargo de las pérdidas ocasionadas por dichos percances. El procedimiento común es emitir un requerimiento de pago para aprobación por parte del proveedor, y canalizar el procedimiento hacia el Departamento de Contabilidad, como suele mostrar el Formato 26, aunque una simple muestra de aprobación de la cantidad de pago por

parte de un representante autorizado del proveedor (como el Gerente de Calidad o el Contralor), es más que suficiente para proceder.

<b>Supplier Charge Back</b>					
SMRR NO. _____			CHARGE BACK NO. _____		
ORGANIZATION NAME: _____			ORGANIZATION CODE: _____		
PART NUMBER: _____			PLANT NAME: _____		
PART NAME: _____			PROJECT: _____		
FAILURE MODE: _____			RMA REFERENCE NO: _____		
PERSON NOTIFIED AT ORGANIZATION'S FACILITY: _____			NOTIFICATION DATE: _____		
TITLE: _____			ESTIMATED CHARGE BACK: _____		
CUSTOMERS IMPACTED: _____			CURRENCY: _____		
SUPPLIER APPROVAL (ESTIMATED COSTS): _____			DATE: _____		
PRINT NAME: _____			TITLE: _____		
SUPPLIER APPROVAL (ACTUAL COSTS): _____			DATE: _____		
PRINT NAME: _____			TITLE: _____		
<b>1. Inspection of Pieces</b> <input type="checkbox"/> Initial in Box					
Operators		Downtime	Total Hours	Cost	Total Cost
_____ x _____		=	0	x _____	= \$ _____
<b>2. Inspection of Finished Goods</b> <input type="checkbox"/> Initial in Box					
Operators		Downtime	Total Hours	Cost	Total Cost
_____ x _____		=	0	x _____	= \$ _____
<b>3. Operator Downtime Hours</b> <input type="checkbox"/> Initial in Box					
Operators		Hours	Days	Total Hours	Cost
_____ x _____ x _____		=	0	x _____	= \$ _____
<b>4. Operator Overtime Hours</b> <input type="checkbox"/>					
Operators		Hours	Days	Total Hours	Cost
_____ x _____ x _____		=	0	x _____	= \$ _____
<b>4. Support Staff Labor Hours</b> <input type="checkbox"/>					
Support		Hours	Total Hours	Cost	Total Cost
_____ x _____		=	0	x _____	= \$ _____
Flight Data: _____ flights					\$ _____
Hotel Data: _____ days					\$ _____
Car Data: _____ weeks					\$ _____
<b>4. Material Handler Labor Hours</b> <input type="checkbox"/>					
List any hours the material handlers incurred to: move, ship, load or unload trucks.		Operators	Hours	Total Hours	Cost
		_____ x _____	=	0	x _____ = \$ _____
<b>5. Scrap Costs</b> <input type="checkbox"/> Initial in Box					
List any parts that had to be scrapped due to a rework operation for this issue.	Part Number	Quantity	Unit Price (SCE Use Only)	Total Cost	
	_____	_____	Unit price _____ =	\$ _____	
	Part Number	Quantity	Unit price _____ =	\$ _____	
	_____	_____	Unit price _____ =	\$ _____	
Part Number	Quantity	Unit price _____ =	\$ _____		
_____	_____	Unit price _____ =	\$ _____		
<b>6. Freight &amp; Expedite Costs</b> <input type="checkbox"/> Initial in Box					
1 _____	Comments				Total Freight Charges
2 _____					\$ _____
3 _____					-
4 _____					-
<b>7. Customer Support Labor Hours</b> <input type="checkbox"/> Initial in Box					
List any hours any customer support personnel spent sorting or reworking at the assembly plant.			Total Hours	Cost	Total Cost
			0	x _____	= \$ _____
<b>8. Other Costs</b> <input type="checkbox"/> See Additional Costs Attached					
List any set-up, changeover, packaging expenses or other miscellaneous costs.			Total Cost		
			\$ _____		
<b>9. Total Costs</b>					
Add all totals and enter total dollars to be recovered on the line here.					Total Cost
					\$ _____
Buyer Approval: _____			Date: _____		
Controller Approval: _____			Date: _____		

Formato 26. Cargos al Proveedor (reproducción).

## Conclusiones

Lo que se realizó en el trabajo conjunto de las metodologías *APQP*, *Lean Manufacturing*, *Six Sigma* e *ISO 9000* alrededor del proceso de *PPAP*, es el aprovechar las técnicas y herramientas que cada una de éstas aporta para complementar un sistema de calidad que el que se lograría con el trabajo individual de cada una de ellas. Con ello se unificarán los esfuerzos de cada una para potenciar la capacidad de una organización para producir de manera más eficiente y con menos gastos por desperdicios.

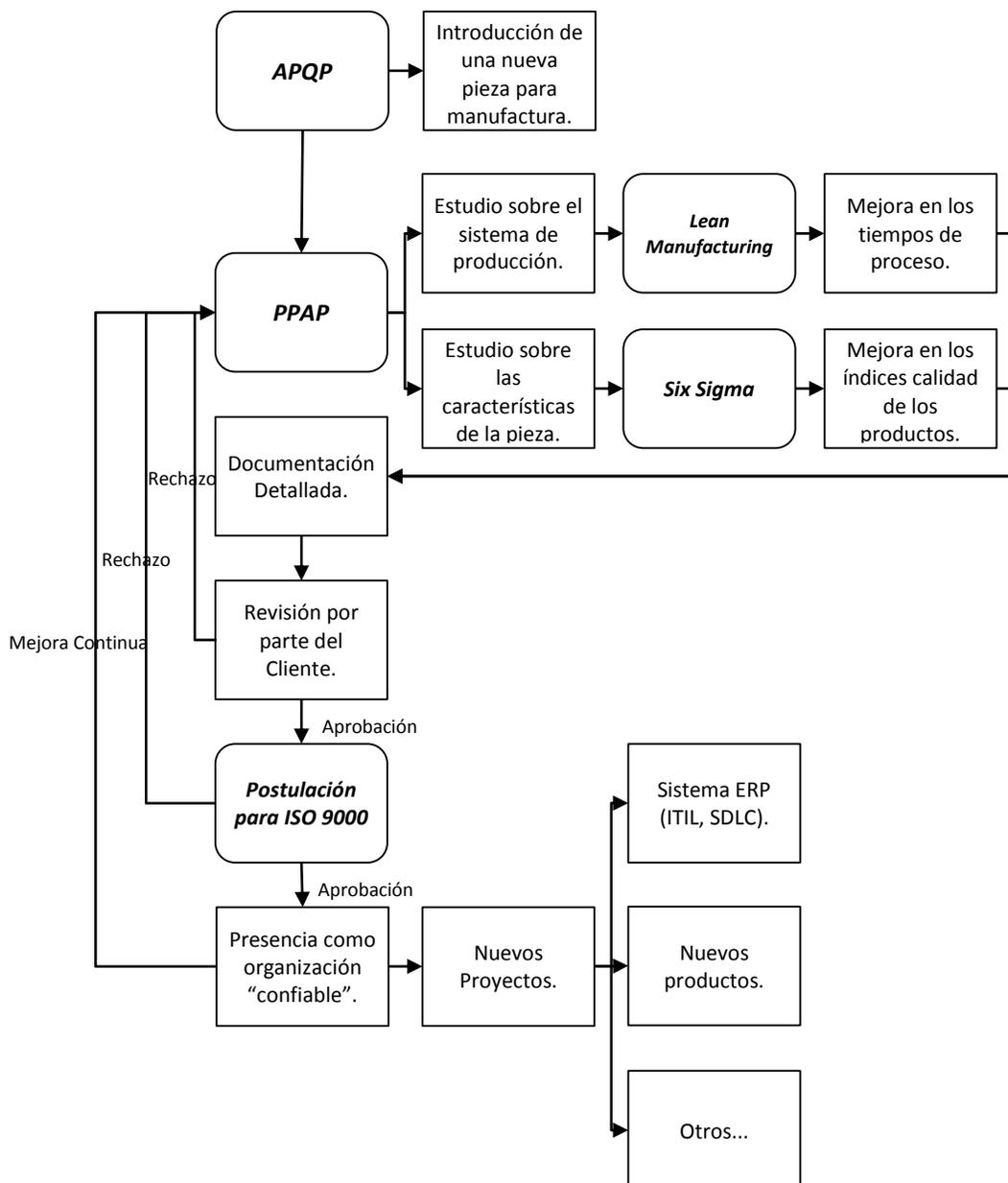


Figura 30. Coordinación de las metodologías en un programa completo (elaboración propia).

En la Figura 30 se puede apreciar la manera principal en la que se conjuntaron dentro de un flujo:

Como se explicó en el trabajo, *APQP* tiene la principal tarea de ayudar a la organización a planificar la mejor manera en la que se implementará un nuevo proyecto o producto. En sí, el

proceso PPAP ya forma parte del APQP y es un requisito para la autorización del inicio de producción de una parte, por ende, es preciso ligarlos de manera directa.

El proceso PPAP puede dividirse en dos grandes campos: los documentos relacionados a la producción y los documentos relacionados a las características de la pieza. En sí, lo que aporta el PPAP es el documentar las pruebas necesarias para demostrar al cliente lo que se ofrece, pero es de esperarse que desde el diseño del sistema de producción se contemplen las herramientas utilizadas por Lean Manufacturing para hacer este sistema eficiente y económico.

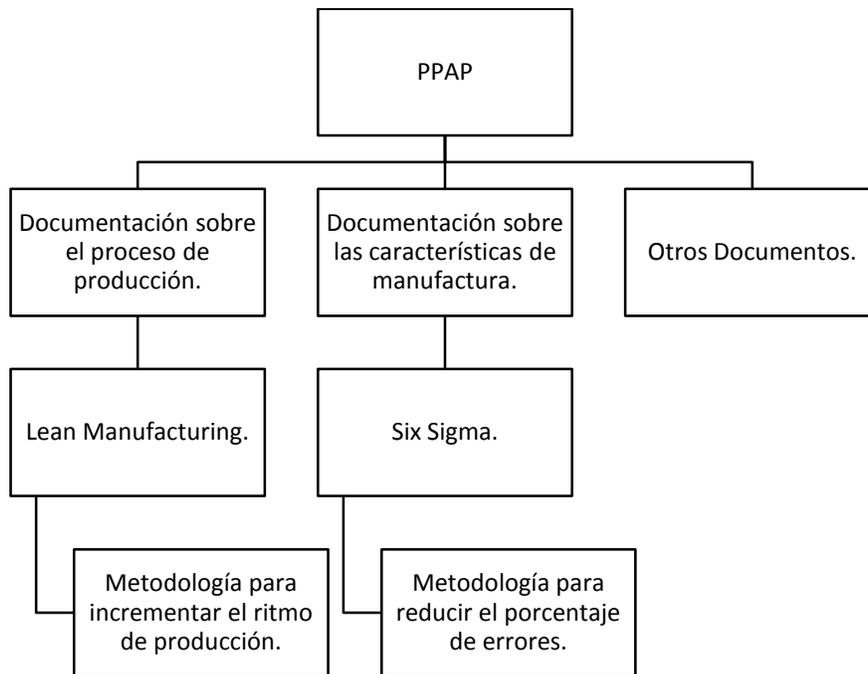
Por otra parte, Six Sigma es necesario dentro del programa para ofrecer uniformidad en los productos que se obtendrán de la línea de producción. ISO 9000 es puntual: “demostrar que todas las piezas que el proveedor entregue estén dentro de la conformidad que el cliente exige”. Six Sigma es la metodología que más permite acercarnos a esta meta.

Cuando dentro de la organización se alcancen las condiciones establecidas por el cliente, y cuando se hayan aprovechado ya las herramientas de Lean Manufacturing y Six Sigma para alcanzar estas condiciones, se procede a documentar todos los procesos dentro del PPAP. Una vez que se tenga el documento completo, se enviará a evaluación por parte del cliente, quien tendrá dos alternativas: rechazar el producto, lo que significará para la organización revisar las especificaciones y repetir las pruebas para más tarde intentar ofrecer los productos nuevamente; o aceptar el producto, lo que conllevará a la organización a una nueva etapa dentro del desarrollo del producto.

Luego de la aprobación por parte del cliente, y tras tener un nivel estable de ganancia dentro de la organización, se procede a implementar los requerimientos de ISO 9000, principalmente porque el contar con esta norma ofrecerá un mercado laboral más amplio que trabajar sin ella. ISO 9000 enviará evaluadores a determinar si la compañía cumple las condiciones de documentación necesaria para que le sea otorgado un certificado o si debe de trabajarse en algunas áreas de oportunidad.

Cuando se supere la etapa de pruebas y se obtenga el certificado, la organización deberá mantener sus estándares de calidad altos mediante la repetición del proceso: mejora en los sistemas de producción y en las características del producto y propuesta de cambios y mejoras al cliente. De manera paralela la organización debe buscar alternativas innovadoras de administración, como la implementación de un sistema ERP (*Enterprise Resource Planning - Planificación de Recursos de la Empresa*) que cumplan estándares similares a los de este trabajo, pero aplicables a sistemas informáticos (como SDLC - *System Development Life Cycle* o ITIL - *Information Technology Infrastructure Library*).

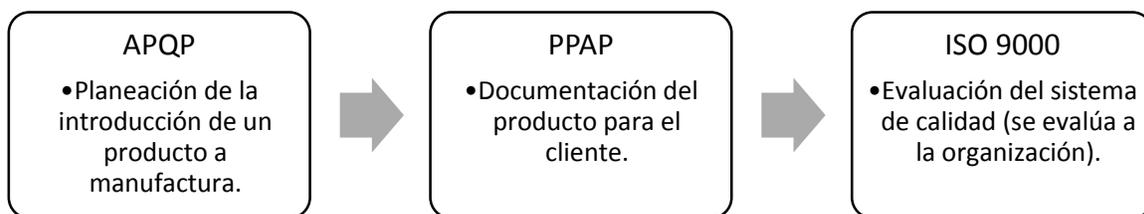
En primera instancia, hay que aprovechar la segmentación de un PPAP para implementar dos de las metodologías que hemos analizado: Lean Manufacturing y Six Sigma, las que involucran una mejora directa en el sistema de producción (como se muestra en la Figura 31).



**Figura 31. Interacción entre PPAP, Lean Manufacturing y Six Sigma (elaboración propia).**

La interacción de estas dos metodologías con el proceso PPAP es más directa, debido a que las mejoras que produzcan éstas se verán más fácilmente reflejadas dentro de los documentos que PPAP recopila.

Por otra parte, la interacción entre PPAP, APQP e ISO 9000 es ciertamente temporal y menos variable. Se pretende que primero se haga una evaluación con base en APQP, más tarde se elabore PPAP y al final se analicen e implementen los cambios sugeridos por ISO 9000. Así podemos crear una cadena como la de la Figura 32.



**Figura 32. Interacción entre PPAP, APQP e ISO 9000 (elaboración propia).**

Otro aspecto de la colaboración entre éstas metodologías es que tienen un beneficio mutuo: mientras que Lean Manufacturing puede tener una serie de herramientas de trabajo, como el Mapa de Corrientes de Valor, el uso de los documentos que tiene PPAP en este aspecto, como el AMEF y el Plan de Control, ofrecen una oportunidad para la documentación más efectiva del proceso para su análisis posterior. Interacciones similares pueden prestarse entre todas las metodologías de este trabajo.

Gran parte de las empresas en México son incapaces de competir a nivel internacional por manejar formas de trabajo poco organizadas e insuficientes para mantener un alto flujo de producción. Una de las soluciones a este problema es implementar formas de trabajo que permitan un mayor control de la calidad y, como consecuencia de la reducción en la cantidad de errores, se podrán contemplar maneras para incrementar la tasa de producción sin que esto implique que la calidad se vea comprometida.

El principal sector en el que se detecta esta falta de competencia es en empresas medianas y pequeñas, principalmente basadas en negocios familiares y donde la calidad puede incluso depender únicamente de la habilidad de un operador para utilizar una máquina. Mediante la implementación del sistema integral propuesto, estas empresas tienen la oportunidad de incrementar considerablemente la calidad de sus productos y la uniformidad de su producción.

## **Bibliografía**

### Manuales:

- Measurement System Analysis. (2010) AIAG: 4<sup>TH</sup> Version.
- Potential Failure Mode and Effects Analysis. (2008) AIAG: 4<sup>TH</sup> Version.
- Production Part Approval Process. (2006) AIAG: 4<sup>TH</sup> Version.
- Statistical Process Control. (2005) AIAG: 2<sup>ND</sup> Version.
- Advanced Product Quality Planning and Control Plan (APQP). (2008) AIAG: 2<sup>ND</sup> Version.
- Planeaciones de Calidad y Planes de Control. (1995) AIAG: 2<sup>ND</sup> Version.

### Libros:

- FORREST W., Breyfogle II. (2003) Implementing Six Sigma. EEUU: John Wiley & Sons.
- CARBEDILLO Nava, Víctor Manuel. (2008) ISO 9000:2000, Estrategias para implantar la norma de calidad para la mejora continua. México: Limusa.
- HOYLE, David. (1998) ISO 9000, Manual de Sistemas de Calidad. España: Paraninfo.

### Cursos:

- Six Sigma. Gill Industries de México SA de CV.
- Core Tools. Gill Industries de México SA de CV / SCCAP Internacional.
- Lean Manufacturing. General Electric / LEAN Challenge 2011.

### Estándares Automotrices:

- Estándares SAE relacionados a composición de los materiales;
- Estándares ASTM relacionados a composición de los materiales;
- Estándares JIN relacionados a composición de los materiales;
- Estándares DIN relacionados a composición de los materiales;
- CQI-9. Special Process: Heat Treat System Assessment;
- CQI-11. Special Process: Plating System Assessment
- CQI-12. Special Process: Coating System Assessment
- CQI-15. Special Process: Welding System Assessment

#### Páginas de Internet:

- <http://www.ehowenespanol.com/>
- <http://spcgroup.com.mx/imds/>
- <http://spcgroup.com.mx/ppap/>
- <http://www.gestiopolis.com/>
- <http://www.mdc1.com.mx/>
- <http://www.toyota-forklifts.eu/>
- <https://www.moresteam.com/>
- <http://www.engineeredsoftware.com/>
- <http://premium.docstoc.com>
- <http://elsmar.com/Forums>

#### GD&T:

- <http://www.tec-ease.com/>
- [http://en.wikipedia.org/;](http://en.wikipedia.org/)
- <http://www.emachineshop.com/machine-shop>

#### Transformaciones:

- <http://www.isixsigma.com/topic/the-dangers-of-johnson-and-other-transformations/>

#### Lean Manufacturing

- <http://www.emsstrategies.com/dd120103article1.html>
- [http://www.strategosinc.com/vsm\\_symbols.htm](http://www.strategosinc.com/vsm_symbols.htm)
- <http://www.velaction.com/water-spider-mizusumashi/>